



Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Automotiva

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

Autor: Felipe Corrêa de Melo
Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Brasília, DF
2018



Felipe Corrêa de Melo

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Coorientador: Prof. Dr. Henrique Gomes de Moura

Brasília, DF

2018

Felipe Corrêa de Melo

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas/ Felipe Corrêa de Melo. – Brasília, DF, 2018-
95 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2018.

1. Confiabilidade. 2. Manutenção. I. Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa.
II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Estudo de Caso de
Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

CDU 02:141:005.6

Felipe Corrêa de Melo

Estudo de Caso de Controle Estatístico e Análise de Falhas em Frota de Máquinas Agrícolas

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 06 de julho de 2018 – Data da aprovação do trabalho:

Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa
Orientador

**Prof. Dr. Alessandro Borges de Sousa
Oliveira**
Convidado 1

Prof Msc. Saleh Barbosa Khalil
Convidado 2

Brasília, DF
2018

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pelas conquistas proporcionadas, acompanhado sempre de um caminho guiado. Agradeço a todos meus familiares e especificamente agradeço muito a meus pais por proporcionarem e darem condições e total apoio, além de valores primordiais para convivência e desenvolvimento social, pessoal e profissional. São parte fundamental da conquista que esse trabalho representa e são a tradução das minhas realizações. Agradeço o orientador professor Doutor Fábio Cordeiro de Lisboa pela orientação, juntamente a participação do co-orientador professor Doutor Henrique Gomes de Moura por me guiarem e buscarem a evolução desse trabalho e do conhecimento sempre. Agradeço a Universidade de Brasília e todos os professores que são responsáveis pela minha caminhada e construção acadêmica. É com muita gratidão que menciono meus amigos de longa data e os grandes amigos que fiz durante a caminhada acadêmica, que tanto dividiram alegrias mas também ajudaram, me apoiaram e acompanharam as lutas e dificuldades do período. A todos que de maneira direta ou indireta tem influência nessa evolução, nesse período e me desejaram sucesso, somaram e lutaram comigo, muito obrigado.

Resumo

O trabalho apresenta um estudo de caso com foco sem desenvolvimento da qualidade e levantamento estatístico, use os índices para avaliar o departamento de manutenção de frota automotivo agrícola, especificamente de colhedoras de cana-de-açúcar. O conceito de manutenção é fundamental por desdobrar-se em produtividade, sendo assim um ponto chave para a diminuição de custos de empresas e organizações e conseqüentemente aumentar a competitividade de mercado. O acompanhamento dos processos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva possibilitam melhores condições para a tomada de decisão, munindo de informações sobre o controle efetivo dos processos. Nenhum caso específico das colhedoras de cana-de-açúcar ou levantamento estatístico se faz relevante pelas condições de operação da máquina, sempre sujeitas a variação das condições ambientais extremas impactando em desgastes prematuros de partes e peças bem como maior degradação de lubrificantes. Desse modo, índices específicos de manutenção e modelos de distribuição de dados para levantamento de confiabilidade e taxas de falhas são trabalhados, identificando problemas críticos e apontamentos para solução, inserindo uma concepção de engenharia de manutenção. Uma função Weibull em processos industriais têm características interessantes pela flexibilidade de modelagem dos dados e representação grande parte das situações de falhas por possuir parâmetros ajustáveis, conferindo uma distribuição característica para cada situação.

Palavras-chaves: manutenção. confiabilidade. falhas. estatística.

Abstract

The paper presents a case study focused on the development of quality and statistical survey, using indexes to evaluate the department of maintenance of agricultural automotive fleet, specifically sugarcane harvesters. The concept of maintenance is fundamental because it unfolds in productivity, thus being a key point for the reduction of costs of companies and organizations and consequently increase the market competitiveness. The monitoring of corrective, preventive and predictive maintenance processes allows better conditions for decision making, providing vital information to managers for effective process control. In the specific case of sugar cane harvesters, the statistical survey is made relevant by the adverse operating conditions of the machine, which is always subject to variation in extreme environmental conditions, impacting premature wear of parts as well as more degradation of lubricants. Thus, specific maintenance indexes and data distribution models for reliability and failure rate survey are worked out, identifying critical problems and notes for solution, inserting maintenance engineering design. The Weibull function in industrial processes has interesting characteristics due to the flexibility of data modeling and represents a large part of the fault situations, raising parameters such as reliability and failure rate by having adjustable parameters, giving a characteristic distribution for each situation.

Key-words: Maintenance. Reability. Failure. Statistic.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Influência do nível método de manutenção no custo	20
Figura 2 – Relação entre o lucro e a disponibilidade de máquinas	20
Figura 3 – Métodos de manutenção e suas características	25
Figura 4 – Processos principais dentro de um setor de manutenção de frota agrícola	27
Figura 5 – Gráfico de controle estatístico de processo	30
Figura 6 – Influência do beta, considerando teta e delta iguais para todas as curvas	34
Figura 7 – Influência do parâmetro de escala teta na distribuição Weibull	34
Figura 8 – Influência de Delta, parâmetro de posição, na distribuição Weibull . . .	35
Figura 9 – Curva da banheira - Engenharia de Manutenção	37
Figura 10 – Função de risco para Weibull - Taxa de falha	37
Figura 11 – Alguns dos elementos que compõe uma colhedora de cana-de-açúcar . .	39
Figura 12 – Processo de colheita de cana-de-açúcar	40
Figura 13 – Componentes do processo de corte da cana-de-açúcar	41
Figura 14 – Fluxograma em modelo BPMN da metodologia aplicada	49
Figura 15 – Filtro de sistema das colhedoras de cana analisadas	50
Figura 16 – Planilha das ordens de Serviço	50
Figura 17 – Planilha das ordens de Serviço	51
Figura 18 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	61
Figura 19 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	61
Figura 20 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	62
Figura 21 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	62
Figura 22 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	63
Figura 23 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	63
Figura 24 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	64
Figura 25 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar	64
Figura 26 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	65
Figura 27 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	66
Figura 28 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	67
Figura 29 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	68
Figura 30 – Confiabilidade do Sistema Hidráulico - Colhedora Case A8800	71
Figura 31 – Taxa de Falha do Sistema Hidráulico - Colhedora Case A8800	71
Figura 32 – Confiabilidade do Sistema Extrator - Colhedora Case A8800	72
Figura 33 – Taxa de Falha do Sistema Extrator - Colhedora Case A8800	72
Figura 34 – Confiabilidade do Sistema Elevador - Colhedora Case A8800	73
Figura 35 – Taxa de Falha do Sistema Elevador - Colhedora Case A8800	73
Figura 36 – Confiabilidade do Sistema Corte de Base - Colhedora Case A8800 . . .	74

Figura 37 – Taxa de Falha do Sistema Corte de Base - Colhedora Case A8800 . . .	74
Figura 38 – Confiabilidade do Sistema Divisor de Linha - Colhedora Case A8800 . .	75
Figura 39 – Taxa de Falha do Sistema Divisor de Linha - Colhedora Case A8800 . .	75
Figura 40 – Confiabilidade do Sistema de Material Rodante - Colhedora Case A8800	76
Figura 41 – Taxa de Falha do Sistema de Material Rodante - Colhedora Case A8800	76
Figura 42 – Confiabilidade do Sistema Picador - Colhedora Case A8800	77
Figura 43 – Taxa de Falha do Sistema Picador - Colhedora Case A8800	77
Figura 44 – Confiabilidade do Sistema Hidráulico - Colhedora John Deere CH 570 .	78
Figura 45 – Taxa de Falha do Sistema Hidráulico - Colhedora John Deere CH 570 .	78
Figura 46 – Confiabilidade do Sistema Extrator - Colhedora John Deere CH 570 . .	79
Figura 47 – Taxa de Falha do Sistema Extrator - Colhedora John Deere CH 570 . .	79
Figura 48 – Confiabilidade do Sistema Elevador - Colhedora John Deere CH 570 . .	80
Figura 49 – Taxa de Falha do Sistema Elevador - Colhedora John Deere CH 570 . .	80
Figura 50 – Confiabilidade do Sistema Corte de Base - Colhedora John Deere CH 570	81
Figura 51 – Taxa de Falha do Sistema Corte de Base - Colhedora John Deere CH 570	81
Figura 52 – Confiabilidade do Sistema Divisor de Linha - Colhedora John Deere CH 570	82
Figura 53 – Taxa de Falha do Sistema Divisor de Linha - Colhedora John Deere CH 570	82
Figura 54 – Confiabilidade do Sistema de Material Rodante - Colhedora John Deere CH 570	83
Figura 55 – Taxa de Falha do Sistema de Material Rodante - Colhedora John Deere CH 570	83
Figura 56 – Confiabilidade do Sistema Picador - Colhedora John Deere CH 570 . .	84
Figura 57 – Taxa de Falha do Sistema Picador - Colhedora John Deere CH 570 . .	85
Figura 58 – Fluxograma do procedimento de manutenção interno	95

Lista de tabelas

Tabela 1 – Situação da Manutenção Geral Brasileira em Relação aos Métodos Aplicados	21
Tabela 2 – Componentes principais de uma colhedora de cana-de-açúcar	40
Tabela 3 – Características de diferentes tipos de pesquisa	42
Tabela 4 – Disponibilidade Física de Máquinas	59
Tabela 5 – Índice de Corretiva	60
Tabela 6 – Parâmetro β para as colhedoras Case A8800	69
Tabela 7 – Parâmetro θ para as colhedoras Case A8800 (em horas)	69
Tabela 8 – Parâmetro β para colhedoras John Deere CH 570	69
Tabela 9 – Parâmetro θ para colhedoras John Deere CH 570 (em horas)	70

Sumário

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	21
1.2	Objetivo	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivos Específicos	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1	Manutenção	23
2.1.1	Métodos de Manutenção	23
2.1.1.1	Manutenção Corretiva	23
2.1.1.2	Manutenção Preventiva	24
2.1.1.3	Manutenção Preditiva	24
2.1.2	Atributos da manutenção	26
2.2	Métricas de Manutenção	27
2.2.1	MTBF – <i>Mean time between failures</i>	28
2.2.2	Tempo médio de reparo - MTTR	28
2.2.3	Tempo médio para falha TMPF	28
2.2.4	Disponibilidade Física	28
2.2.5	Custo de Manutenção por Valor de Reposição	29
2.2.6	Índice de Retrabalho	29
2.2.7	Índice de Corretiva	29
2.2.8	Diagrama de Pareto	29
2.2.9	Controle Estatístico de Processo	29
2.2.9.1	Gráfico U - Gráfico de Controle para Defeitos por Unidade	31
2.3	Confiabilidade	31
2.3.1	Conceitos atrelados a Confiabilidade	32
2.4	Distribuição Weibull	33
2.5	Colhedora de cana-de-açúcar	38
2.6	Estudo de Caso - Abordagem Utilizada	41
2.6.1	Variações dos estudos de caso	42
2.6.2	Projetando estudos de caso e seus componentes	42
2.6.3	Utilizando a teoria no estudo de caso	43
2.6.4	Avaliando a generalização	44
2.6.5	Projeto de estudo de caso	44
3	METODOLOGIA	47

3.1	Caracterizando a usina analisada	47
3.2	Desenvolvimento do levantamento dos dados	49
3.3	Métricas de análise para o estudo de caso	53
3.3.1	MTBF - <i>Mean time between failures</i> (Do português Tempo Médio Entre Falhas - TMEF)	53
3.3.2	Disponibilidade Física de Máquinas	53
3.3.3	Índice de Corretiva	54
3.3.4	Diagrama de Pareto	54
3.3.5	Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	54
3.3.6	Quantificando a Confiabilidade	55
3.3.7	Taxa de falha - Função de Risco	55
3.4	Tratamento de dados	56
3.4.1	<i>Hazzard Plotting e Probablity Plotting</i>	56
3.4.2	Máxima Verossimilhança	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	Disponibilidade Física de Máquinas	59
4.2	Índice de Corretiva	60
4.3	Diagrama de Pareto	60
4.4	Controle Estatístico de Processo - Gráfico U	64
4.4.1	Controle Estatístico - Colhedoras CASE	65
4.4.2	Controle Estatístico - Colhedoras John Deere	66
4.5	Parâmetros da distribuição Weibull	68
4.5.1	Parâmetros de Weibull para os sistemas das colhedoras Case A8800	69
4.5.2	Parâmetros de Weibull para os sistemas das colhedoras John Deere CH 570	69
4.6	Confiabilidade e Função de Risco	70
4.6.1	Confiabilidade e Taxa de Falha - Colhedoras Case A8800	70
4.6.1.1	Sistema Hidráulico	70
4.6.1.2	Sistema Extrator	72
4.6.1.3	Sistema Elevador	73
4.6.1.4	Sistema Corte de Base	74
4.6.1.5	Sistema Divisor de Linha	74
4.6.1.6	Sistema de Material Rodante	75
4.6.1.7	Sistema Picador	76
4.6.2	Confiabilidade e Taxa de Falha - Colhedoras Case John Deere CH570	77
4.6.2.1	Sistema Hidráulico	77
4.6.2.2	Sistema Extrator	78
4.6.2.3	Sistema Elevador	79
4.6.2.4	Sistema Corte de Base	80
4.6.2.5	Sistema Divisor de Linha	81

4.6.2.6	Sistema de Material Rodante	83
4.6.2.7	Sistema Picador	84
5	CONCLUSÃO	87
	REFERÊNCIAS	89
	ANEXOS	93
	ANEXO A – PRIMEIRO ANEXO	95

1 Introdução

O custo de manutenção é uma variável de grande importância na qualidade do processo de funcionamento de uma indústria, e consequentemente é um dos responsáveis pelo sucesso de uma empresa. [Mirshawka e Olmedo \(1993\)](#) mostram que a função da manutenção gera custos mas a indisponibilidade do equipamento é em muitos casos um problema invisível aos responsáveis pelos departamentos de manutenção e causa um custo concentrado na perda de produção, falta de qualidade do produto final penalidades comerciais e por fim, na imagem da empresa no mercado. O custo, a disponibilidade de máquinas e a qualidade do processo de manutenção são elementos que resultam em produtividade.

A manutenção é função estratégica por influir sobre os resultados da organização e diante disso alguns conceitos são fundamentais para a compreensão e desenvolvimento da manutenção automotiva, neste caso especificamente a manutenção de máquinas agrícolas. Segundo [Kardec e Nascif \(2001\)](#), a manutenção é essencial na gestão da qualidade e na padronização de processos como por exemplo a ISO 9000.

A diminuição dos custos no setor sucroalcooleiro auxiliam nos preços finais e na melhoria da produção de açúcar e etanol, aumentando a competitividade brasileira em uma importante commodity no âmbito internacional e favorecendo o fortalecimento do mercado interno no ramo de açúcar.

O desafio se dá em relação a aplicação das políticas básicas de manutenção. Como estudado por [Murty e Naikan \(1995\)](#), um gráfico de lucro em função da disponibilidade de máquinas (Fig. 2) é de suma importância para compreender que a busca por falha zero torna os processos de manutenção cada vez mais caros, podendo por vezes não serem viáveis em função do alto custo gerado. Aplicar manutenções cada vez mais controladas a partir de um certo ponto podem aumentar o custo de maneira substancial, sem necessariamente aumentar a produtividade ou atuando de maneira pouco significativa na produção e disponibilidade de máquinas.

Um gráfico de custo em função do nível de manutenção de [Mirshawka e Olmedo \(1993\)](#), mostrado na Figura 1 fornece o entendimento a respeito do custo de manutenção preventiva.

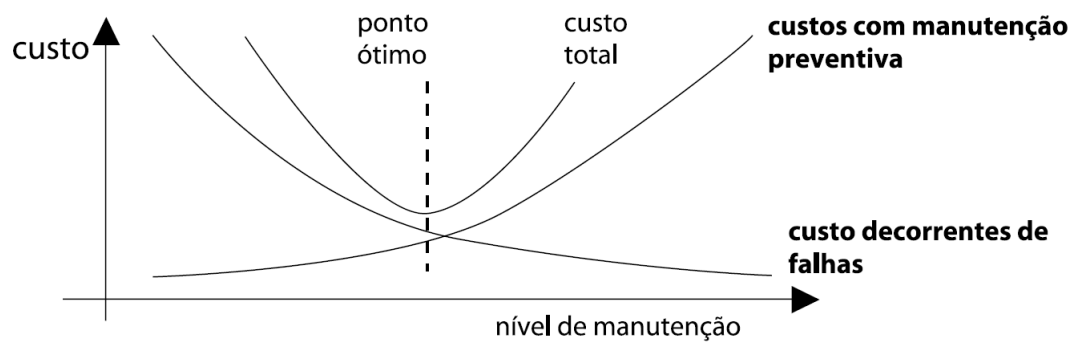


Figura 1 – Influência do nível método de manutenção no custo

Fonte: (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1993)

É apresentado na Figura 2, que fazendo relação com o gráfico de Murty e Naikan (1995) a manutenção preventiva reduz os custos até determinando ponto ótimo, e após este, causa elevação dos custos totais, mesmo que minorando o custo decorrente das falhas.

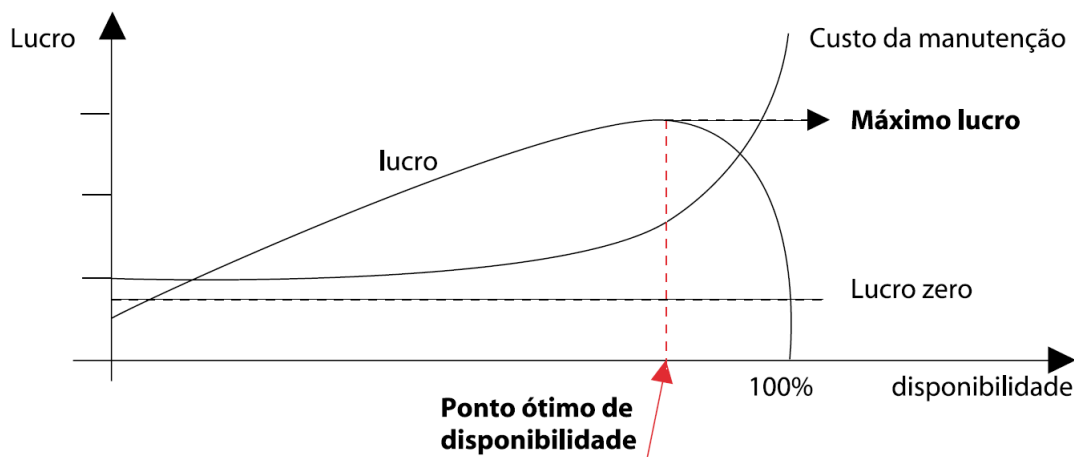


Figura 2 – Relação entre o lucro e a disponibilidade de máquinas

Fonte: (MURTY; NAIKAN, 1995)

É possível inferir da Figura 2 que não é desejável disponibilidade de maquinário total, por isso encarece muito a manutenção e requer aplicação de alta tecnologia e controle. Definir o ponto ótimo e ideal das políticas de manutenção é grande desafio da gestão de manutenção, como afirma Xenos (1998). Para tanto é preciso entender os conceitos de manutenção, que por muitas vezes não são bem compreendidos pelos próprios trabalhadores dos departamentos de manutenção.

Em relação aos métodos de manutenção que serão discutidos posteriormente a ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção) apresenta, periodicamente um levantamento estatístico de índices, intitulado "Documento Nacional", na Tab. 1:

Tabela 1 – Situação da Manutenção Geral Brasileira em Relação aos Métodos Aplicados

Ano	Aplicação dos Recursos na Manutenção (%)			
	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2013	30,86	36,55	18,82	13,77
2011	27,40	37,17	18,51	16,92
2009	26,69	40,41	17,81	15,09
2007	25,61	38,78	17,09	18,51

1.1 Justificativa

A proposta do estudo de caso surge da necessidade de maior controle e acompanhamento das máquinas agrícolas, mais especificamente as de cana-de-açúcar. A necessidade de maior disponibilidade da frota de colhedoras, menor custo e maior controle sobre o processo de manutenção.

De acordo com levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento - [Conab \(2013\)](#), a estimativa de produção de cana-de-açúcar na safra 2016/2017 é de 657,18 milhões de toneladas, valor pouco menor se comparado a safra anterior. [Rezende \(2003\)](#), mostra que o custo com máquinas agrícolas é superior a 20% do custo das culturas, podendo variar de acordo com o que é produzido. Os estudos de [Cruz \(2010\)](#) demonstram um custo de manutenção responsável por 21,11% do custo total operacional de corte mecanizado. Na afirmação de [Scaranello et al. \(2012\)](#) a mecanização da colheita de cana de açúcar cresce a cada safra, visando redução de custo e outros fatores como legislação ambiental. O trabalho contínuo sobre condições adversas causam grande desgaste e necessidade de manutenção contínua. Visando alta disponibilidade busca-se reduzir o tempo de indisponibilidade mecânica, evitando-se possíveis falhas e quebras.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar um processo de manutenção automotiva agrícola, atuando diretamente no controle de qualidade do processo, quantificando estatisticamente as falhas e o rendimento do processo utilizando métricas aplicadas em manutenção de frota.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar conhecimento acerca dos processos técnicos de manutenção automotiva de frota agrícola em usinas sucroalcooleiras;

- Realizar coleta de dados pertinentes a manutenção de frota agrícola (colhedoras de cana-de-açúcar);
- Verificar os gargalos dos procedimentos de manutenção e as principais causas de falhas em máquinas e sistemas automotivos.
- Quantificar graficamente a confiabilidade, através de recursos matemáticos afim de buscar engenharia de manutenção.

2 Referencial Teórico

2.1 Manutenção

Para compreender e envolver-se nos métodos de manutenção e conceitos, é necessário discutir alguns termos específicos, como: Defeito, Falha e Pane.

Utilizando como referência a norma da ABNT (NBR 5462) segue:

- Defeito

É definido como qualquer desvio apresentado na característica de um item, comparado aos requisitos.

- Falha

Perda da capacidade de um item desempenhar a função para qual é solicitado.

- Pane

É um estado, dado pela falha ou outro problema anterior. Não se considera o período de manutenção preventiva, outras ações planejadas ou falta de recurso para intervenção.

2.1.1 Métodos de Manutenção

Segundo [Xenos \(1998\)](#) e [Lafraia \(2001\)](#) os métodos de manutenção podem ser classificados como: Manutenção Corretiva, Manutenção Preventiva e Manutenção Preditiva. De acordo com (Viana, 2006) os tipos de Manutenção são também os mesmos, mas com o acréscimo de um termo: Manutenção Autônoma (TPM).

2.1.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é realizada após a ocorrência da falha. Em princípio a manutenção corretiva é mais barata do que a prevenção das falhas nos equipamentos, mas não leva em conta a perda de produtividade e a queda na qualidade do produto final, em função do alto custo gerado pela indisponibilidade do equipamento. A manutenção corretiva causa grandes perdas por interrupção e isso deve ser levado em conta na estratégia de manutenção. O autor em questão também cita a análise a ser feita a respeito da manutenção corretiva. ([XENOS, 1998](#))([NUNES, 2001](#))

Deve ser analisado se existem formas de evitar a ocorrência da falha e se são viáveis tecnicamente e economicamente. A escolha pela manutenção corretiva ainda submete a

presença de recursos previamente disponíveis como peças de reposição e mão-de-obra com condições de agir rapidamente. Por mais que a manutenção corretiva tenha sido o método de trabalho, ou o principal método de manutenção isso não deve influir em naturalidade com as falhas ocorrendo nos eventos de produção.(XENOS, 1998)

A definição apresentada pela ABNT (NBR 5462/1993) descreve a manutenção corretiva como: “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a colocar um item em condições de executar uma função requerida”.

2.1.1.2 Manutenção Preventiva

É um termo abrangente que faz ligação com as ações de prevenção a acontecimentos específicos.

A descrição realizada por Viana (2002) é a manutenção realizada em máquinas em condições operacionais ou estado zero de defeito. São serviços efetuados em intervalos previamente estabelecidos utilizando critérios particulares, seja pelo fabricante ou por experiência operacional em relação aos períodos de falha.

De acordo com Xenos (1998), deve ser atividade principal de manutenção em qualquer empresa sendo o coração das atividades de manutenção. Estão relacionadas tarefas sistematizadas, tais como as trocas de peças, reformas e inspeções visuais e análise de metrologia. Possuem caráter obrigatório e comparadas as manutenções corretivas são mais onerosas a organização embora a frequência de falhas diminua, fazendo com que automaticamente a disponibilidade dos equipamentos aumente, minimizando as interrupções inesperadas na produção. As regras preventivas são definidas através de análises técnicas, o que auxilia no ganho de rapidez do serviço de manutenção dando previsibilidade do melhoramento de métodos e os indicativos para o setor de gestão de manutenção.

O excesso de manutenção preventiva causa efeitos colaterais controversos dentro dos departamentos de manutenção. O aumento do tempo de máquinas paradas e a perda da utilização do equipamento mecânico ou do elemento por toda sua vida útil são situações indesejadas no contexto da gestão de manutenção produtiva. Algumas intervenções podem ser desnecessárias causando alterações negativas no sistema produtivo.(NEPOMUCENO, 2014)

2.1.1.3 Manutenção Preditiva

O termo manutenção preditiva caracteriza-se no uso de análises e acompanhamentos dos sistemas mecânicos da máquina e de seus elementos, utilizando-se geralmente de tecnologia para impedir que falhas aconteçam. De modo direto a manutenção preditiva permite a utilização do equipamento de modo mais eficiente, levando a condições de uso próximas a vida útil.(KARDEC; NASCIF, 2013)

Xenos (1998), conceitua que a manutenção preditiva otimiza a utilização das peças, aproveitando sua vida útil e estendendo os intervalos de manutenção. O acompanhamento técnico do componente permite trocas próximas ao limite da vida de uso, podendo ser monitoradas algumas condições como por exemplo: variação de vibração, lubrificação e desgaste da estrutura dos elementos mecânicos. Ainda na opinião de Xenos (1998) a tecnologia atual auxiliou o desenvolvimento de muitas técnicas de manutenção preditiva sofisticadas mas de alto custo como termografia por exemplo, analisando através de sensoriamento remoto a temperatura de funcionamento do equipamento, gerando imagens obtidas a partir de radiação térmica.

A implementação da manutenção preditiva utiliza conceitos e técnicas avançadas o que demanda grupos diferenciados dentro dos departamentos de manutenção. Dessa forma o grupo necessita de treinamento específico em áreas do conhecimento da engenharia, para que sua aplicação seja efetiva e os resultados contribuam para a melhoria da produtividade.

As afirmações de Viana (2002), atribuem ainda as análises de termografia e em indústrias mais modernas os ensaios por ultrassom, tendo crescimento significativo a partir dos anos de 1990. Embora a manutenção preditiva pareça a solução dos problemas com os equipamento dos departamentos de manutenção, existem desvantagens como a necessidade de maior conhecimento teórico de técnicos e operadores, realizando registro permanente de experimentos e domínio no acompanhamento operacional das máquinas.

O acompanhamento, monitoramento das condições obedecem a metodologias e processos sistemáticos, definidos dentro de um plano de manutenção Kardec e Nascif (2013). Desse modo o planejamento de um processo de manutenção preditiva caracteriza sua qualidade e eficiência.

Pode ser estabelecido de maneira geral os métodos de manutenção e suas características através da figura 3 a seguir:



Figura 3 – Métodos de manutenção e suas características

2.1.2 Atributos da manutenção

Sintetizando os conceitos, [Kardec e Nascif \(2013\)](#), corrobora o fato de que a manutenção nas aplicações de engenharia tem algumas principais prerrogativas:

- Aumentar a confiabilidade;
- Aumentar a disponibilidade;
- Melhorar a manutenibilidade;
- Aumentar a segurança;
- Eliminar problemas crônicos;
- Solucionar problemas tecnológicos;
- Melhorar a capacitação do pessoal;
- Participar de novos projetos;
- Dar suporte a execução.

Nesses atributos, o contexto global de engenharia de manutenção visa aplicar técnicas modernas e conhecimentos a fim de garantir resultados satisfatórios. As organizações possuem comportamentos particulares na modelagem dos seus processos de manutenção que podem ser exemplificados de maneira aproximada pelos métodos apresentados na [Figura 4](#):

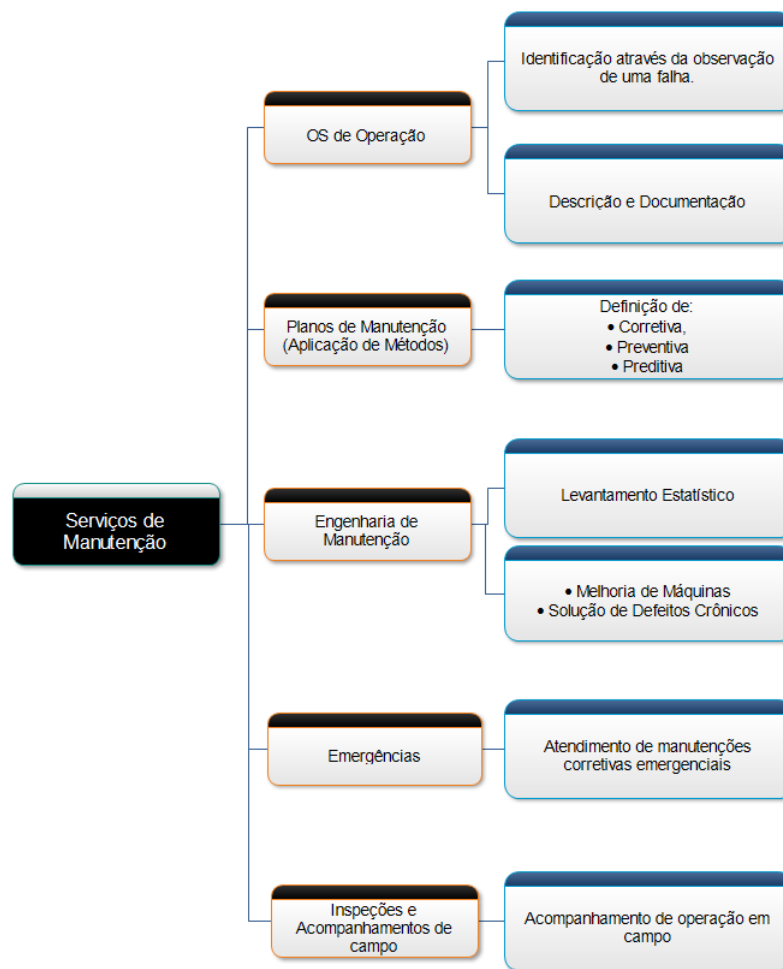


Figura 4 – Processos principais dentro de um setor de manutenção de frota agrícola

2.2 Métricas de Manutenção

O desenvolvimento do departamento de manutenção tem relação direta com análises estatísticas e o levantamento de índices que traduzem em números a situação operacional e a qualidade do processo de manutenção. É uma análise direta e dinâmica que acompanha a evolução, e permite previsões de alcance de metas e controle.

Segundo [Viana \(2002\)](#), tais índices têm por função retratar aspectos importantes na planta industrial. São valores e condições variáveis que se aplicam de acordo ou não através de análises particulares para cada empresa. O Planejamento e Controle de Manutenção – PCM – avalia o monitoramento do processo e o que possui valor agregado no intuito de obter dados conclusivos, e não apenas dados desnecessários, gerando volume de informação sem utilidade.

No PCM a análise dos dados são feitas através de métricas que indicam o desempenho da manutenção. Como descrito por [Viana \(2002\)](#), existem seis métricas principais

utilizados por grande parte dos países ocidentais:

- MTBF – *Mean time between failures*, Também conhecido pelo termo em português: Tempo médio entre falhas – TMEF;
- MTTR – Mean time to repair, ou TMR – Tempo médio de reparo;
- TMPF – Tempo médio para falha;
- Disponibilidade física da máquina;
- Custo de manutenção por faturamento;
- Custo de manutenção por valor de reposição;
- Diagrama de pareto;
- Gráfico de CEP.

2.2.1 MTBF – *Mean time between failures*

Em português, o termo MTBF é conhecido como Tempo médio entre falhas e é de suma importância porque faz relação com a disponibilidade das máquinas em operação. É um sinal positivo para o departamento de manutenção, visto que o aumento do índice reflete em melhoria da manutenção, indicando que as corretivas estão diminuindo.

2.2.2 Tempo médio de reparo - MTTR

O tempo médio de reparo é a divisão entre o somatório das horas de indisponibilidade (HIM) devido a manutenção pelo número de intervenções corretivas no período. Índice capaz de demonstrar o impacto da falha e o tempo gasto para a correção, sendo desejado baixos índices de MTTR.

2.2.3 Tempo médio para falha TMPF

O tempo médio para falha tem foco nos componentes não reparáveis. É o levantamento que caracteriza de maneira correlata o tempo de vida do componente.

2.2.4 Disponibilidade Física

Fator que varia de acordo com a organização, a empresa, ou até mesmo os departamentos internos. Representa em termos percentuais a entrega de um equipamento para o processo de operação em relação as horas totais de um determinado período. É de grande importância para a estratégia de funcionamento dos departamentos de manutenção e para atender necessidades do processo produtivo.

2.2.5 Custo de Manutenção por Valor de Reposição

Consiste na conexão entre o custo total de manutenção do equipamento e o valor de compra. É um indicador que pode justificar e deixar claro o alto custo de manutenção, sendo esse indicador ideal próximo a valores de 5-10%, dependendo do retorno financeiro da atividade realizada pela organização, empresa.

2.2.6 Índice de Retrabalho

A análise desse indicador tem como propósito verificar a qualidade dos serviços realizados pela manutenção. A quantidade de retorno gera custo adicional, sendo ainda uma intervenção não definitiva, causando transtornos futuros, necessitando de realizar novamente uma ação de manutenção na mesma máquina pelo mesmo motivo.

2.2.7 Índice de Corretiva

A análise desse indicador tem como propósito fornecer o método de manutenção predominante e quantificar a utilização desse método.

2.2.8 Diagrama de Pareto

Um indicativo existente dentro dos departamentos de manutenção que organizam informações em forma de gráfico e são conclusivos a respeito das principais ocorrências é o diagrama de pareto. Segundo [Montgomery \(2009\)](#), essa ferramenta é um gráfico de ocorrências por categoria (ordenando as pelo número de ocorrência).

[Ballester-Alvarez \(2012\)](#), aponta que a definição se dá como sendo um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências. A organização é feita da maior para a menor, o que permite indicar os principais problemas, priorizando estes.

É também conhecido como diagrama 80-20, em função do Economista e Sociólogo Vilfredo Pareto mostrar que 80% das consequências decorrem de 20% das causas, o que leva a análise de que grande parte dos problemas se concentram em poucas e concentradas causas.

2.2.9 Controle Estatístico de Processo

De acordo com o texto de [Montemor, Ortega e C.S \(2001\)](#), o Controle Estatístico de Processo – CEP não é recente, sendo trabalhado desde meados do ano 1920, originado dos trabalhos de Shewart, nos laboratórios Bell. Esse conjunto de ferramentas são utilizadas para manter o processo dentro de um controle, analisando desvios e visando atacar problemas. Algumas ferramentas se destacam, sendo elas:

- Histograma;
- Gráfico de pareto;
- Diagrama de causa e efeito;
- Diagrama de concentração de defeito;
- Gráfico de controle;
- Diagrama de dispersão;
- Folha de verificação.

A consideração de [Montgomery \(2009\)](#) relaciona o controle estatístico de processo como influente direto na qualidade de um processo. A melhoria da qualidade significa a resolução de defeitos e eliminar sistematicamente os resíduos que causam perda e retrabalho de um modo geral.

O gráfico de controle é foco da pesquisa e possui uma linha central, referente a um valor médio do parâmetro de qualidade. São definidos limites superiores e inferiores de controle, escolhidos de modo que exista uma faixa ótima de qualidade, quando os valores em análise se encontrarem dentro dessa faixa definida pelo limite superior de controle - LSC e pelo limite inferior de controle - LIC, Figura 5:

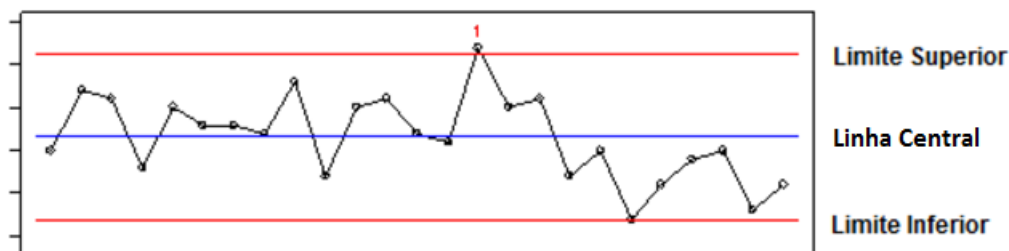


Figura 5 – Gráfico de controle estatístico de processo

Fonte: Adaptado de Portal Action, 2012

A forma, o modelo do gráfico de controle é dada por:

$$LSC = u_w + k\sigma_w \quad (2.1)$$

$$LC = u_w \quad (2.2)$$

$$LIC = u_w - k\sigma_w \quad (2.3)$$

Onde u é a média de uma distribuição W , e σ o desvio padrão, sendo k uma espécie de distância entre os limites de controle, criando uma faixa, um intervalo comumente escolhido como $k = 3$, sendo esse valor decisivo para o rigor do controle.

Montgomery (2009), menciona que a teoria geral desse gráfico de controle foi primeiramente realizada, estudada e conceituada por Dr. Walter A. Shewhart, portanto são frequentemente denominados como gráficos de controle de Shewhart.

2.2.9.1 Gráfico U - Gráfico de Controle para Defeitos por Unidade

A situação de defeitos por unidade é comumente descrita pela distribuição de Poisson. Se cada amostra possuir n unidades e houver uma quantidade de defeitos denominada C para essa mesma amostra, então

$$U = \frac{C}{n} \quad (2.4)$$

Essa é a média de defeitos por unidade, podendo ser construído um gráfico U para tal. Sendo U uma variável aleatória de Poisson com parâmetro λ , tem-se então a média e a variância da distribuição. De posse da média λ e a variância de λ/n , aplica-se nas equações 2.1, 2.2 e 2.3.

2.3 Confiabilidade

Por definição tem-se que a confiabilidade de um elemento está vinculada à probabilidade de exercer adequadamente a finalidade especificada, por um período de tempo e sob condições específicas. Essa definição é o conceito por trás da norma brasileira NBR 5462 – 1994, item 2.2.6.4. Através desta, infere-se que o objeto de interesse pode variar, sendo um item, um sistema ou uma composição de diversos elementos. No caso de um computador por exemplo, pode ser avaliado tanto o conjunto (computador de fato) quanto os itens internos, individualizados. (FOGLIATTO; DUARTE, 2009)

A confiabilidade é uma probabilidade e portanto deve apresentar valores entre 0 e 1. Quando se trata de dois componentes em um sistema (modelo binário), com probabilidades distintas A e B, a confiabilidade do sistema composto por esses dois componentes pode ser obtida através de aplicações de probabilidade básica, considerando o sistema em série ou paralelo, na mesma analogia da análise de resistência para sistemas elétricos. (SELLITTO, 2005)

Nas proposições de Moubray (1996) a história da confiabilidade é relatada passando pelas aplicações da primeira até a segunda guerra mundial e as avaliações de confiabilidade dos itens eletrônicos feitas pelo exército americano, além dos aviões, motores e o desenvolvimento de engenheiros alemães também a respeito dos voos.

Os modelos de distribuições estatísticas tem comportamentos distintos e possuem tendência para descrever algumas situações adequadamente em relação a $h(t)$ – função de risco ou taxa de falha – :

- O modelo exponencial com $h(t)$ constante explica o comportamento de componentes eletrônicos;
- O modelo de Rayleigh com $h(t)$ linear crescente explica o comportamento de componentes mecânicos;
- O modelo de Weibull de $h(t)$ exponencial explica o comportamento de sistemas de falha, nascidos da competição entre diversos modos de falha.

Para o último caso o tempo de falha de um item é uma variável aleatória T , em que T segue uma distribuição de Weibull para os modos de falha atuando em série, ou seja, uma competição pela falha ocorrendo em sequência (se o primeiro falha, a falha do sistema ocorre) da mesma forma que nos equipamentos industriais. (LEWIS, 1996)

2.3.1 Conceitos atrelados a Confiabilidade

Na apresentação de Fogliatto e Duarte (2009) existem alguns conceitos principais associados a confiabilidade, e são eles: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e confiança. As afirmações também se baseiam na norma da ABNT (NBR 5462/1993) e alguns itens já foram discutidos na Seção 2.2.

- **Qualidade**
A Qualidade tem associação a com a satisfação de requisitos de um produto ou serviço, e podem estar implícitos ou explícitos aos analisadores. Podemos resumir como o cumprimento de especificações.
- **Mantenabilidade**
"Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos."(NBR 5462/1993)
- **Durabilidade**
"Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob dadas condições de uso e manutenção, até que um estadolimite seja alcançado."(NBR 5462/1993)

2.4 Distribuição Weibull

A escolha dessa função está baseada na circunstância de que essa distribuição explica o comportamento de diversos sistemas cuja falha tem origem complexa e advém de diversos modos de falha, atuando em série, competindo pela falha, caso de equipamentos industriais (LEWIS, 1996 citado por SELLITTO, 2007). O estudo de tempos de falha realizado por W. Weibull conduziu a proposta do modelo conhecido como distribuição Weibull que é uma das mais comumente utilizadas nos modelos de confiabilidade e nos levantamentos de tempo de falha e tempo de reparação, fazendo importante correlação com testes acelerados. A variação de formas por ela apresentada é uma grande vantagem, podendo se comportar de maneira semelhante a vários outros modelos de distribuição, dependendo dos parâmetros da Weibull, fornecendo grande flexibilidade para descrever sistemas com falhas crescentes em função do tempo, decrescentes ou constantes. Dentro dos ambientes industriais e produtivos, tal modelo é utilizado para descrever de maneira conveniente a vida de mancais, componentes eletrônicos e elementos mecânicos, além de outros. (MONTGOMERY, 2009) (RELIASOFTBRASIL, 2005)

A função densidade e probabilidade é dada por

$$f(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x - \delta}{\theta} \right)^{\beta-1} e^{\left(-\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.5)$$

Onde:

- β é o parâmetro de forma
- θ é o parâmetro de escala
- δ é o parâmetro de posição

Como é possível perceber, existem 3 parâmetros para essa distribuição, que também pode ser utilizada com apenas 2 parâmetros quando consideramos o parâmetro de posição como sendo zero.

Dodson e Schwab (1962) discute que parâmetro Beta garante a flexibilidade da distribuição e quando alterado pode modelar de diferentes modos os dados. Para os casos de $\text{Beta} = 1$, temos uma identidade de distribuição exponencial, diferentemente do valor de $\text{Beta} = 2$ que identifica uma distribuição de Rayleigh. Para valores entre 3 e 4, se aproxima da distribuição normal e sendo aproximada de uma lognormal para $\text{Beta} = 8$ como podemos ver no gráfico da Figura 6 a seguir:

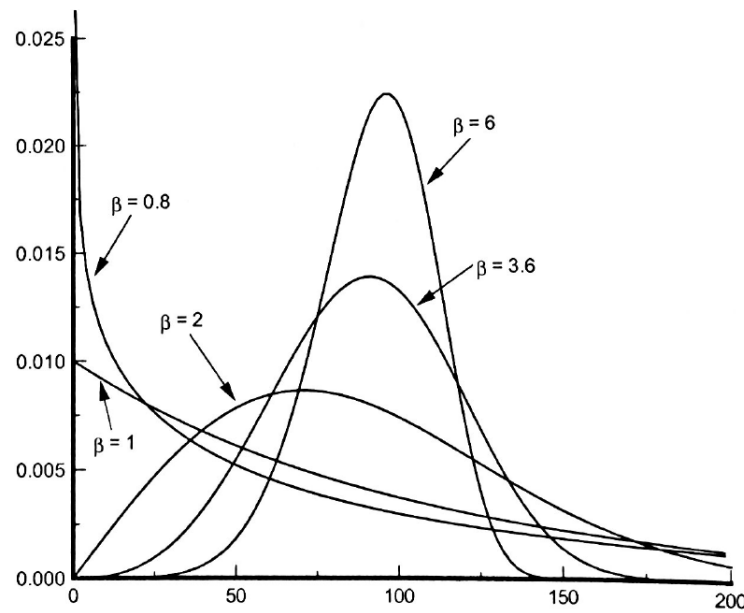


Figura 6 – Influência do beta, considerando teta e delta iguais para todas as curvas

Fonte: (DODSON; SCHWAB, 1962)

O parâmetro de escala determina é responsável por determinar o alcance da função, sendo de maneira simplista responsável por concentrar os dados em torno de uma região causando um achatamento da curva ou a distribuição espaçada dessa mesma curva. Também conhecido como vida característica, 63.2% de todos os valores estão abaixo da vida característica, independente do valor de Beta. Para os casos em que o parâmetro de escala é diferente de zero, a vida característica é dada por teta + delta. (DODSON; SCHWAB, 1962)

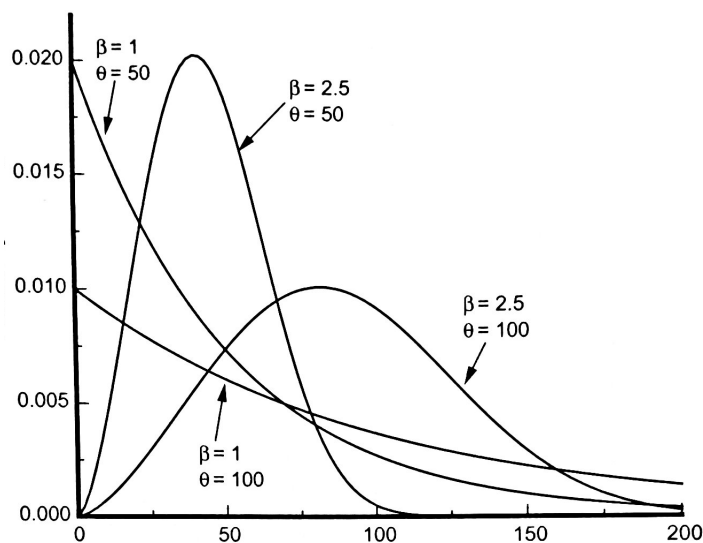


Figura 7 – Influência do parâmetro de escala teta na distribuição Weibull

Fonte: (DODSON; SCHWAB, 1962)

O parâmetro de posição define uma zona de ausência de falha. Quando o valor de delta é maior que x, a probabilidade de falha é zero. Para o caso de delta > 0 as falhas não ocorrem e isso em alguns casos podem ser úteis para definir um período de funcionamento do sistema onde obrigatoriamente não ocorrerão falhas. O caso de Delta < 0 é para as situações onde o item ou a condição do analisado falha antes do teste começar ou antes da operação começar, o que é estranho de se considerar, mas, por outro lado, pode ser justificado por problemas de transporte ou fornecimento de elementos, peças, itens problemáticos. Sendo assim as distribuições de dois parâmetros são geralmente as mais utilizadas, considerando o valor zero para o Delta, parâmetro de posição e assim considera-se que a possibilidade de falha começa no início do teste. (DODSON; SCHWAB, 1962)

A figura 8 abaixo exemplifica a influência do parâmetro δ

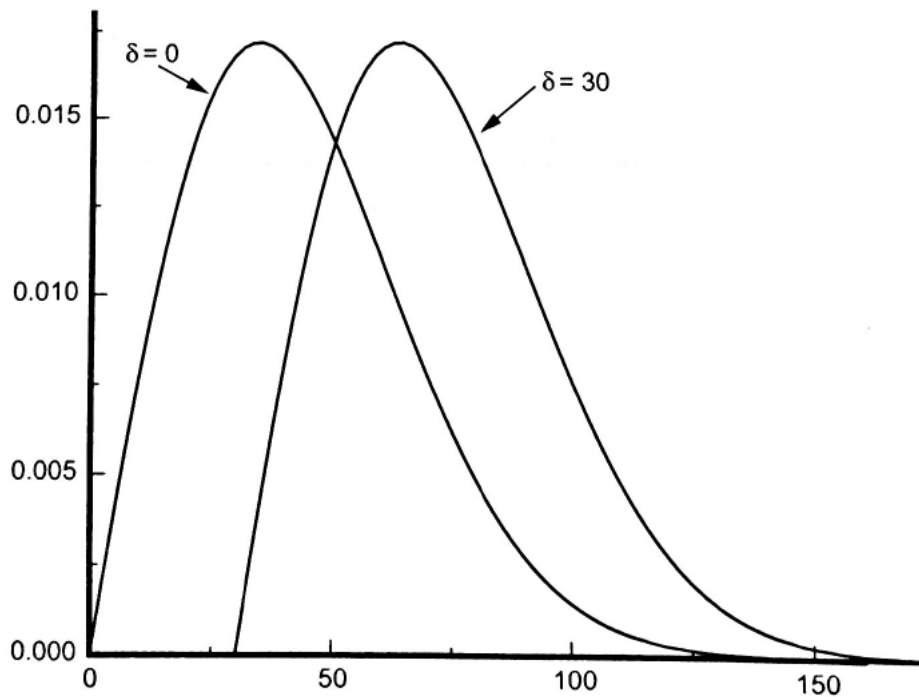


Figura 8 – Influência de Delta, parâmetro de posição, na distribuição Weibull

Fonte: (DODSON; SCHWAB, 1962)

A função de risco, função de azar ou também conhecida como taxa de falha é definida por

$$h(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x - \delta}{\theta} \right)^{(\beta-1)} \quad (2.6)$$

O valor de $h(x)$ é diretamente influenciado por β , quando $\beta < 1$, a função é decrescente, e conceituado como período de mortalidade infantil. No período de mortalidade

infantil ocorrem as falhas prematuras onde a taxa de falhas é decrescente, sendo o decréscimo dependente de quão menor que 1, é β . Nesse período destaca-se principalmente por:

- Processo de fabricação deficiente
- Controle de qualidade deficiente
- Mão-de-obra desqualificada
- Amaciamento ineficiente
- Pré-teste ineficiente
- Materiais fora da especificação
- Problemas de estocagem e transporte
- Sobrecarga no primeiro teste
- Contaminação
- Erro humano
- Instalação imprópria

A taxa se torna constante para $\beta = 1$ que é o período da vida útil, caracterizado por um período de taxa de falhas constantes no qual as falhas são de natureza aleatória, pouco se pode fazer para evitá-las. Alguns dos motivos são:

- Cargas Aleatórias maiores que as esperadas
- Falhas não detectadas durante manutenção preventiva
- Fenômenos naturais imprevisíveis
- Erro inesperado da operação

e período de desgaste ou envelhecimento para $\beta > 1$, concentradas no final da vida útil do produto. (RELIASOFTBRASIL, 2005)(FOGLIATTO; DUARTE, 2009)(MORRIS, 2011)

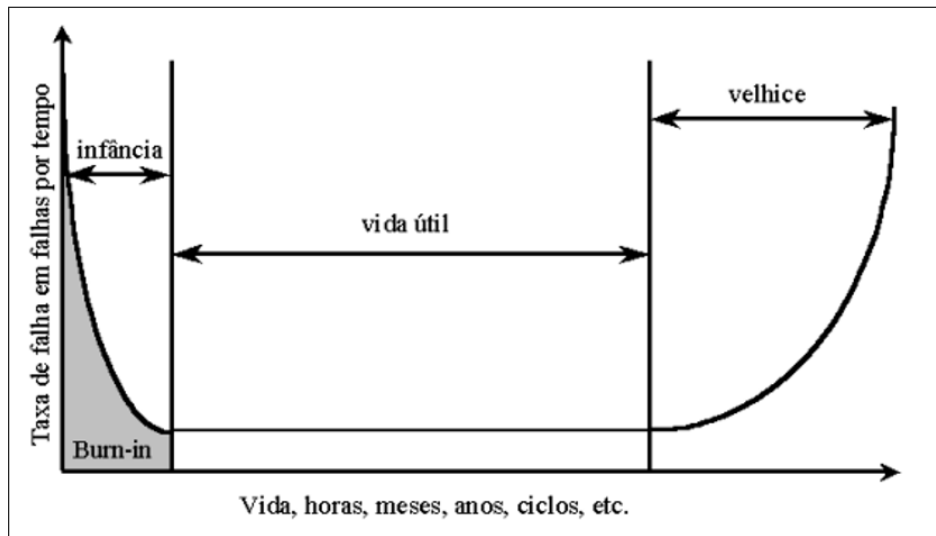


Figura 9 – Curva da banheira - Engenharia de Manutenção

Quando se trata do valor de $\beta > 1$ onde a função de risco é crescente, quanto maior o valor de Beta mais agressiva é o crescimento da curva. Para o caso de $\beta < 1$ a lógica se mantém, quanto menor o valor de Beta, mais abrupta será o decréscimo da curva.

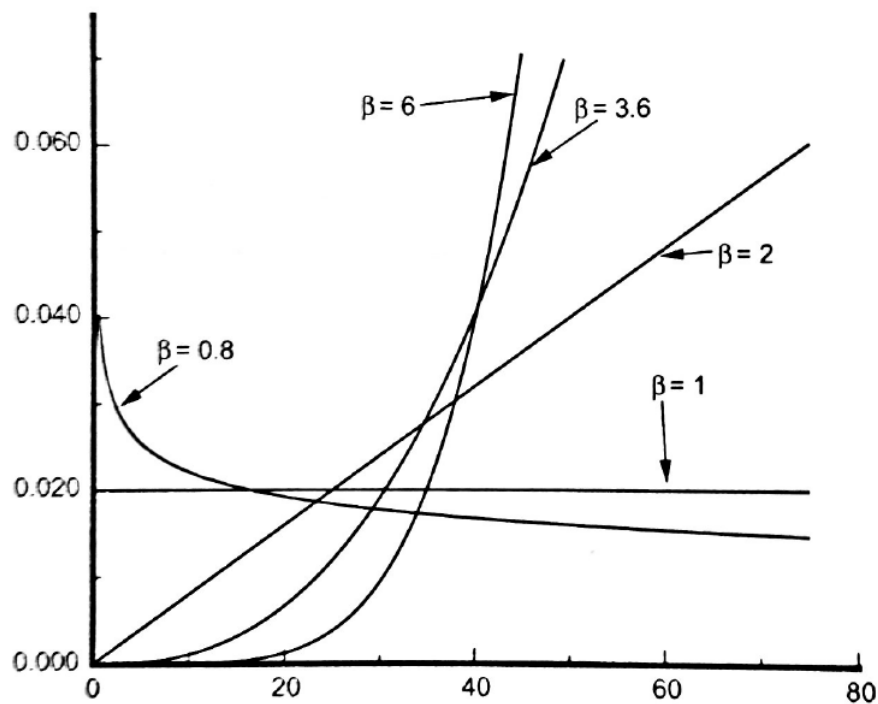


Figura 10 – Função de risco para Weibull - Taxa de falha

Fonte: (DODSON; SCHWAB, 1962)

Outra valorosa consideração a ser feita é a confiabilidade da distribuição Weibull, representada pela equação:

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.7)$$

E a distribuição cumulativa:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (2.8)$$

A média de uma distribuição Weibull é utilizada para o cálculo por exemplo de MTTF e , e o seu cálculo é feito da seguinte forma:

$$U = \theta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.9)$$

A variância para distribuição Weibull é:

$$\sigma^2 = \theta^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right] \quad (2.10)$$

2.5 Colhedora de cana-de-açúcar

Definida a colheita em 3 principais sistemas por [Ripoli e Paranhos \(1897\)](#): sistema manual, sistema semi-mecanizado e sistema mecanizado, a colhedora de cana-de-açúcar consiste no sistema mecanizado, também conhecido como colheita mecanizado. É um tipo de colhedora autopropelida, responsável por todo o sistema de corte, colheita e alimentação de outro equipamento responsável pelo processo de transporte para usina, chamado de transbordo.

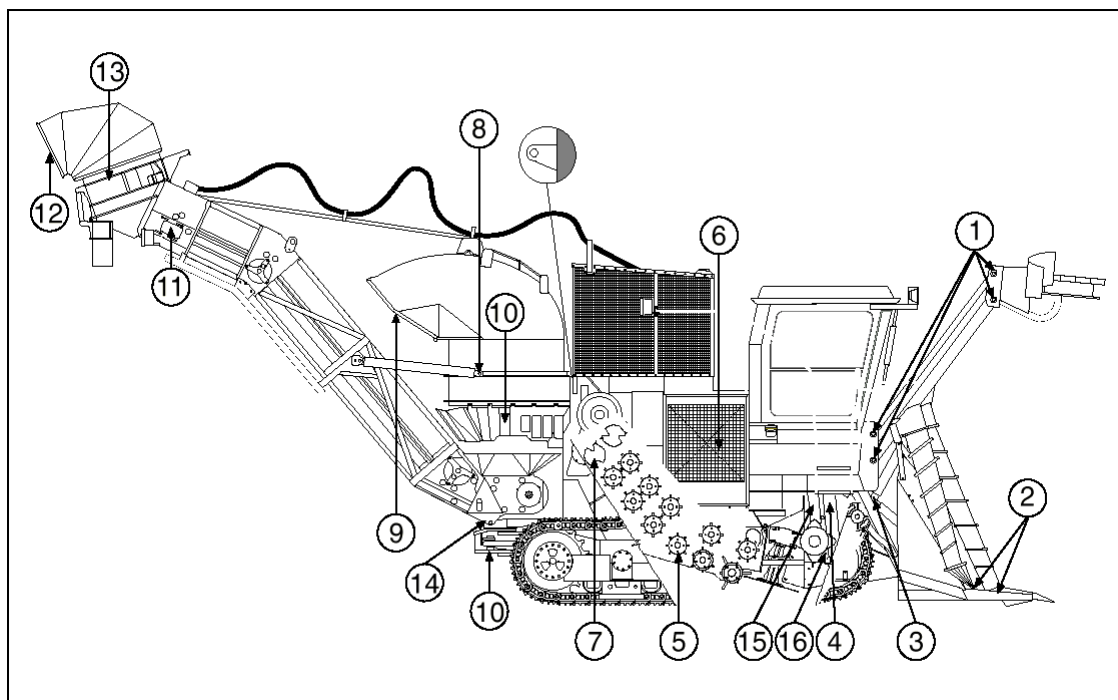


Figura 11 – Alguns dos elementos que compõe uma colhedora de cana-de-açúcar

Fonte: Manual do Operador - Fabricante Cameco, 2000

No estudo de [Shimosakai \(2015\)](#), o procedimento de corte da cana-de-açúcar é realizado inicialmente pelo cortador de pontas, estrutura responsável por reduzir as folhas presentes na cana e outras impurezas vegetais que pela sua estrutura molecular orgânica pobre em açúcar contribuem muito pouco para a produção. Tem para a maioria dos casos, adequação a diferentes variedades de cana, sendo ajustado em posição para atender ao ponto ideal de corte de pontas. Em seguida, os divisores de linha ou separadores de linha são encarregados de desassociar as linhas, visto que a colhedora em questão, faz o corte de uma linha específica por vez. Essa divisão é essencial para a produtividade da colheita apenas do desejado, existindo ainda o encargo no levantamento da cana que esteja acamada, tombada sobre o solo.

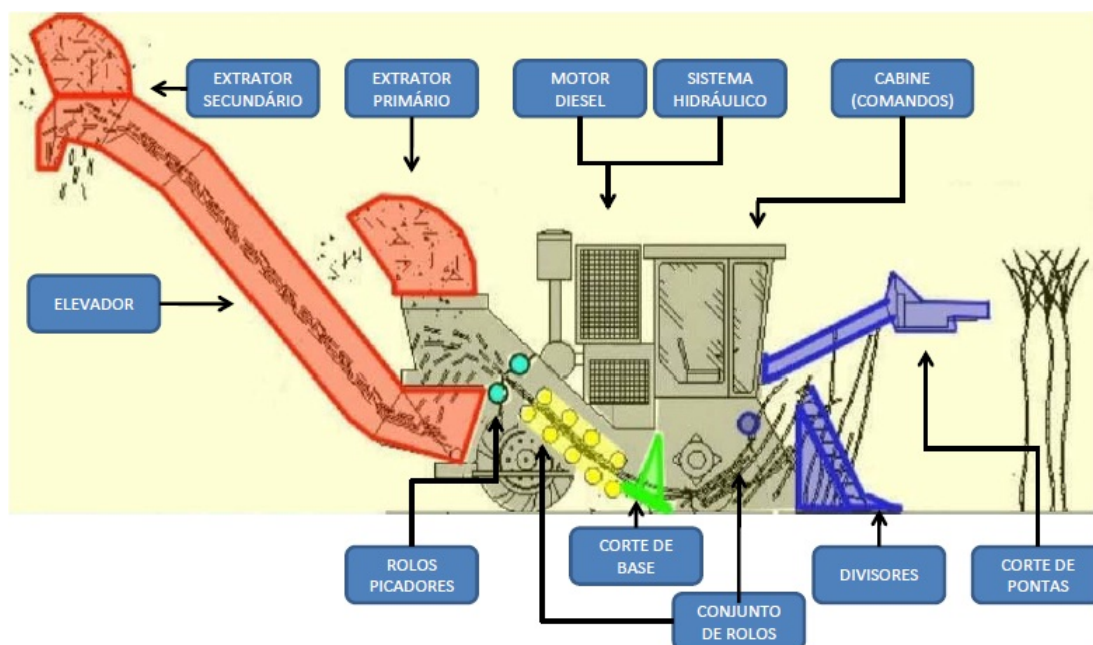


Figura 12 – Processo de colheita de cana-de-açúcar

Fonte: Gobesso, 2010

Tabela 2 – Componentes principais de uma colhedora de cana-de-açúcar

Item	Nome do Componente
1	Cortador de Pontas
2	Pirulitos/Levantadores de Colmos
3	Divisores de Linha
4	Suspensão
5	Rolos Transportadores
6	Ventilador do Motor (Sist. de Arrefecimento)
7	Rolos Picadores
8	Jacaré
9	Cubo do Extrator Primário
10	Mesa de Giro do Elevador
11	Mancal de Acionamento da Esteira
12	Cubo do Extrator Primário
13	Giro do Bojo Secundário
14	Mancais do Eixo Primário
15	Suspensão e Direção
16	Mesa de Direção

O rolo tombador é incumbido do próximo procedimento, direcionar a cana para o interior da colhedora e auxiliando no sistema de corte realizado pelo corte de base, ou seja, corta-se a base da cana em altura ótima para aproveitamento da maior quantidade de cana possível, rica em açúcar. O posicionamento do corte de base é ajustado pelo operador.

Ainda de acordo com [Shimosakai \(2015\)](#), no caminho para o picador, o corte continua, sendo esse importante para picar a cana previamente cortada através do uso de facas e contra facas rotativas. Após picar, a limpeza é realizada com o extrator primário eliminando a palha e separando folhagens e a sujeira superficial. Essa palha é direcionada sobre o solo, cobrindo-o e a cana segue para o elevador da máquina, em forma de esteira, até alcançar altura necessária para ser despejada no transbordo para transporte passando ainda por um último processo de limpeza semelhante ao primeiro com o extrator secundário.

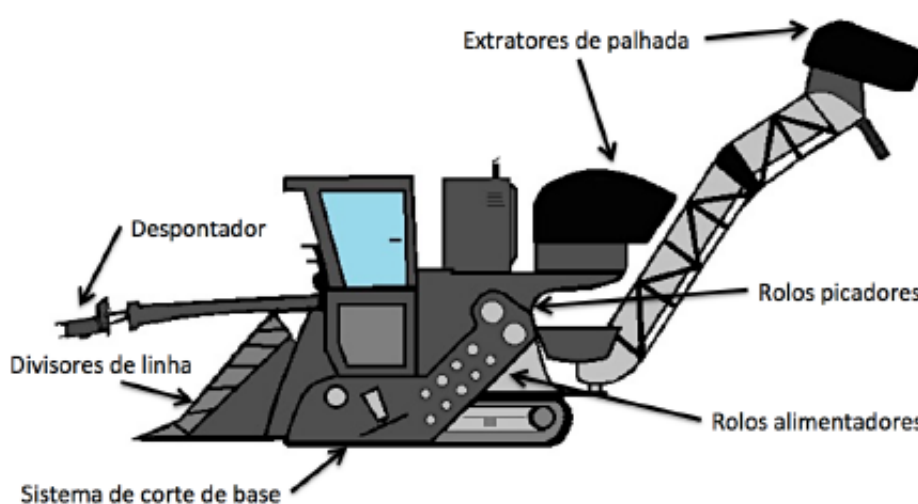


Figura 13 – Componentes do processo de corte da cana-de-açúcar

Fonte: ([SHIMOSAKAI, 2015](#))

2.6 Estudo de Caso - Abordagem Utilizada

As estratégias de pesquisa concentram-se no tipo de pesquisa proposta, no controle do pesquisador sobre o comportamento dos eventos, fenômenos e no foco aos acontecimentos, presando pelo aspecto contemporâneo. A forma das questões “como” e “por que” são explanatórias e levam ao uso também de estudos de caso (Tab. 3), lidando com ligações operacionais do alvo analisado e que comumente necessitam ser traçadas ao longo de um período. ([YIN, 2001](#)).

O objetivo do estudo de caso está no detalhamento dos problemas não completamente dominados ou conhecidos, buscando hipóteses e auxiliando no desenvolvimento de teorias e conceitos. Os especificamente avaliativos enfatizam a conexão entre a descrição e a avaliação de dados levantados durante o estudo. ([MATTAR, 1996](#))([GIL, 1996](#))

Tabela 3 – Características de diferentes tipos de pesquisa

Estratégia	Forma da questão de Pesquisa	Exige Controle Sobre Eventos Comportamentais?	Focaliza Acontecimentos Contemporâneos?
Experimento	Como, Por quê?	Sim	Sim
Levantamento	Quem, O que, Onde, Quantos, Quanto	Não	Sim
Análise de Arquivos	Quem, O que, Onde, Quantos, Quanto	Não	Sim/Não
Pesquisa Histórica	Como, Por quê?	Não	Não
Estudo de Caso	Como, Por quê?	Não	Sim

Nas palavras de [Schramm \(1971\)](#), o estudo de caso possui como essência a tendência em todos os seus tipos de tentar esclarecer uma decisão ou conjunto de decisões, buscando os motivos, a implementação e os resultados.

Com isso [Yin \(2001\)](#), mostra que a definição de estudo de caso cita o objeto das “decisões” como centro dos estudos de caso. Desse modo, a designação também passa por investigações empíricas de fenômenos contemporâneos dentro do contexto da vida real do problema, em particular para contextos não claramente definidos.

Outra característica notável é a de que o estudo se baseia em várias fontes de evidências, com várias variáveis de interesse e utiliza-se de desenvolvimento prévio das teorias para planejar a coleta e análise de dados. Nesse aspecto, o estudo de caso não é se resume em tática para coleta de dados e nem é natureza do planejamento em si ([STOECKER, 1991](#))

2.6.1 Variações dos estudos de caso

Tanto estudos de caso único quanto estudos de casos múltiplos podem ser incluídos nas pesquisas. Além disso também pode ser quantitativas ou limitadas as evidências qualitativas.

De acordo com [Godoy \(1995\)](#), a concepção de pesquisa qualitativa compõe um conjunto de técnicas interpretativas que tem por consequência a descrição e decodificação dos componentes de um sistema complexo. Transcreve e apresenta o sentido das ocorrências do mundo real, reduzindo a distância entre teoria e dados. Não impedem a utilização do empirismo nas análises, mas partem com foco na análise das ocorrências, essas dotadas por vezes de certa ambiguidade.

2.6.2 Projetando estudos de caso e seus componentes

A dificuldade se deve justamente ao plano de projeto de pesquisa, que constitui uma difícil realização dos estudos de caso. Não existe ainda rígidas normativas para tais projetos. Um erro muito comum é acreditar que os estudos de caso são subconjuntos

de outras estratégias de pesquisa como por exemplo os experimentos. Por muito tempo os pesquisadores e estudantes acreditaram ser os estudos de caso, um processo quase-experimental. “Certamente o estudo de caso como vem sendo realizado não deve ser rebaixado pela identificação com um projeto apenas de pós-teste de um único grupo” (COOK; CAMPBELL, 1979).

Em termos de pesquisa o estudo de caso possui suas próprias normativas. Em um projeto de pesquisa, cinco componentes são especialmente relevantes:

1. Questões do estudo;
2. Proposições, quando houver
3. Unidade de análises;
4. Ligação lógica entre os dados e proposições;
5. Critérios de interpretação para as descobertas realizadas.

Já discutido no tópico X, as questões do estudo norteiam a estratégia utilizada, e nessa situação as perguntas “como” e “por que” possuem tarefa inicial decorrer a pesquisa e os focos. A proposição tem atenção voltada para o objeto examinado no escopo do estudo. Está amarrada a teoria desenvolvida previamente e aponta evidências significativas para a organização e estrutura da pesquisa. A definição do caso apresenta a problemática de maneira clara e conduz ao problema fundamental, sendo conceito particular para cada pesquisador. As unidades de análise estão encadeadas com o problema fundamental e a definição do caso. Os estudos podem ser a respeito de um indivíduo, e necessitam de certa restrição pois é comum que pesquisadores cometam o equívoco de fazer abrangentes coletas e proporem situações impossíveis de se estudar pelo alto volume e abrangência. A especificação das proposições permitem limites exequíveis, garantindo viabilidade e condições funcionais para o estudo. (YIN, 2001)

A ligação dos dados com a proposição de acordo com (CAMPBELL, 1975) possui diferentes maneiras de serem feitas, mas a ideia existente é trabalhar com uma adequação ao padrão relacionando a situação a uma proposição teórica, sendo que diversas partes da informação podem estar ligadas a mesma proposição teórica.

2.6.3 Utilizando a teoria no estudo de caso

Para consolidação do estudo, a teoria preliminar relacionada ao tópico deve ser realizada com bom embasamento, mas sem enrijecer e impor teorias antes de uma investigação completa. A compreensão do estudado é base para não cometer os equívocos

comuns de estudantes, contatando os responsáveis pela operação de campo rapidamente sem completo domínio do proposto e do envolvido.

Ao longo do tempo muitos tipos e teorias foram apresentadas, considerando análise de grupos, teorias individuais, organizacionais, entre outras. O estudo de caso facilita a coleta de dados, elevando o nível dos resultados. Acreditar que se deve pensar a teoria com muita formalidade e excesso de complexidade é um erro, pois não requer domínio teórico magistral, mas o projeto completo do estudo de caso conduzirá a uma necessidade de domínio da teoria aplicada, sendo essa primordialmente conhecida antes da realização da coleta dos dados, embasando os principais dados e as relevantes estratégias a seguir. As teorias utilizadas podem ser diversas, passando por teorias: individuais; de grupo; organizacionais e sociais. (YIN, 2001)

No estudo de Carrol e Johnson (1992) as teorias de tomada de decisão foram ilustradas e descritas, incluindo indivíduos, grupos sociais e organizações.

2.6.4 Avaliando a generalização

Uma generalização comumente reconhecida é a estatística, embora não seja uma das mais relevantes para realizar estudos de caso. Através da generalização estatística é feita uma dedução a respeito de uma população ou universo, considerando os dados obtidos sobre a amostragem. Dessa maneira é possível fazer correlação entre população e amostragem, tendo o pesquisador ferramentas matemáticas para determinar o grau de certeza dessa inferência. (FOWLER, 1988)

Ainda assim deve haver cuidado, sendo um erro considerar a generalização estatística para generalizar o estudo de todo caso. A generalização analítica é outro meio pelo qual são realizados os estudos, no qual se utiliza de teorias previamente estabelecidas para validar o modelo, utilizando-se dos dados obtidos empíricos. Esse meio se torna forte quando casos plurais sustentam a mesma teoria. (YIN, 2001)

2.6.5 Projeto de estudo de caso

Podem ser divididos basicamente em dois tipos: único e múltiplos. Quando se trata de estudo de caso único busca-se atestar um fundamento coeso, coerente representando um caso decisivo, com teoria sólida. Nesse caso deve haver um caso único que defere, questiona ou adiciona algo a teoria. Outras possibilidades são o caso único que descreve fenômenos raros, extremos e também casos reveladores, geralmente inacessível a comunidade científica. Assim sendo, torna-se complexa a avaliação e especificação correta de casos considerados como únicos criando a necessidade de uma investigação minuciosa a respeito do evento. (LUDKE; ANDRÉ, 1986)

A medida que se têm mais de um caso único, recorre a projeto de casos múltiplos.

Quando comparado aos casos únicos a vantagem está em abranger mais as diferentes situações gerando inclusive considerações e resultados mais robustos, convincentes, embora exijam para a maioria dos casos amplos recursos e tempo.

3 Metodologia

Com a discussão feita a respeito do estudo de caso, o trabalho em questão é uma pesquisa quantitativa, com objetivo exploratório, caracterizado pela procura em entender o a fundo o tema e os fatores que o cercam, abordando entendimento a respeito de todo o departamento de manutenção automotiva. Torna-se ao mesmo tempo descritivo pela coleta de dados existente, obtida através de contato direto com funcionários e o gestor da área de manutenção, sendo também de caráter explicativo pelo propósito em explicar fenômenos existentes. Para tanto se faz necessário a coleta de dados, em campo, de colhedoras de cana-de-açúcar em operação.

3.1 Caracterizando a usina analisada

A empresa do estudo é o grupo Atvos, unidade Rio Claro Agroindustrial. Está localizada no interior do estado de Goiás, no município de cachoeira Alta. A produção da unidade, tendo como base a moagem de cana foi de aproximadamente 3 milhões de toneladas na safra de 2014/2015.

As análises consistem no acompanhamento de 8 colhedoras na safra de 2017, entre as 20 totais na unidade, que cultivam cana-de-açúcar, dos seguintes modelos:

- 4 Colhedoras - Modelo Case IH 8800
 - Código de identificação - 23020250
 - Código de identificação - 23020251
 - Código de identificação - 23020252
 - Código de identificação - 23020253
- 4 Colhedoras - Modelo John Deere CH 570
 - Código de identificação - 13020291
 - Código de identificação - 13020292
 - Código de identificação - 13020293
 - Código de identificação - 13020306

Dentro do processo operacional as colhedoras possuem os códigos identificadores citados, atribuído pela unidade produtiva, desse modo o acompanhamento permanece organizado para o processo do departamento e consequentemente para o estudo de caso presente.

As instalações e estrutura da oficina da unidade são as seguintes:

- Quadro de 248 integrantes
- Área Total da Oficina ; 70.000 m^2
- Área pavimentada de 24.000 m^2

Área Coberta de Oficina de 4400 m^2 sendo:

- 3200 m^2 de Oficina de Equipamentos
- 16 boxes para veículos e máquinas,

E contendo ainda:

- Caldeiraria;
- Usinagem;
- Oficina de Montagem de Conjuntos;
- Laboratorio Hidraulico;
- Sala de Montagem Eletrica;
- 1200 m^2 de Lavador;
- Rampa de Lubrificação;
- Borracharia.

Foram realizadas duas visitas, sendo uma no ano de 2017 e uma visita em maio de 2018.

3.2 Desenvolvimento do levantamento dos dados

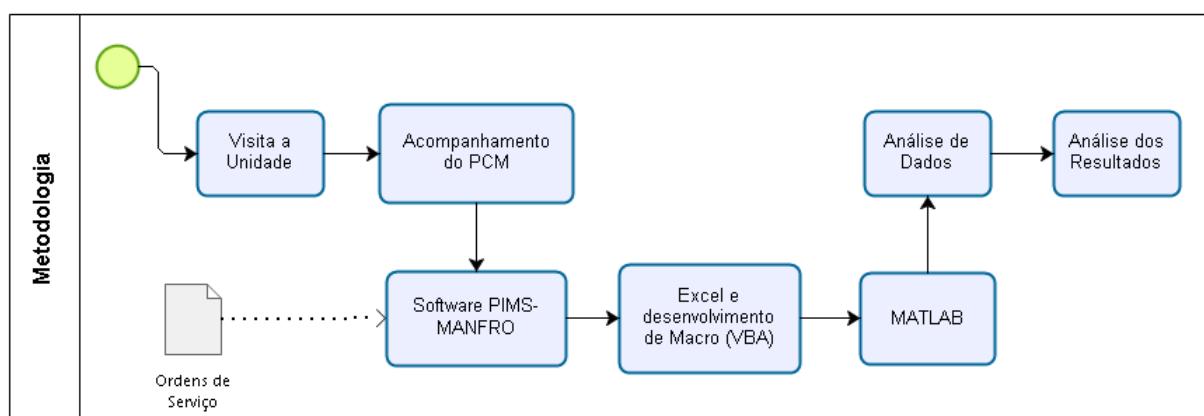


Figura 14 – Fluxograma em modelo BPMN da metodologia aplicada

Fonte: Autor

Neste trabalho os dados levantados foram fornecidos pela empresa estudada, a qual utiliza o software PIMS-MANFRO, responsável pelo acompanhamento da manutenção de frota. A TOTVS é uma empresa brasileira de tecnologia, responsável pela criação e desenvolvimento do PIMS-MANFRO e especialista no desenvolvimento de soluções de negócios para players de todos os portes.

Todo serviço de manutenção realizado é dependente de um documento de controle e permissão, a ordem de serviço, que permite a retirada de peças por conta do executor do serviço além de possuir dados importantes para controle e acompanhamento dentro do processo de manutenção de fato. Dados esses como por exemplo: hora de abertura e fechamento; número do equipamento (identificação); serviço realizado; responsável pelo serviço; responsável pela abertura da ordem de serviço e motivo de parada.

Desse modo, os dados foram coletados no departamento de manutenção da unidade Rio Claro Agroindustrial, seguindo os processos do departamento de manutenção como pode ser visto no anexo A e analisando os documentos de ordens de serviço. O software PIMS-MANFRO, exporta dados para o excel em formato *.xlsx* e com esse arquivo um código em *Visual Basic for Applications (VBA)* foi criado para cálculo do tempo de funcionamento dos componentes dos sistemas da colhedora de cana considerando a diferença entre a data da ordem de serviço aberta e a data de fechamento imediatamente anterior, com isso tem-se o valor de tempo de funcionamento pontual do sistema, entre as falhas.

Portanto, o algoritmo em *Visual Basic for Applications (VBA)* tem a finalidade de obter o tempo de funcionamento dos componentes que compõem um sistema, filtrando-os por equipamento (colhedora) e por tipo de manutenção.

A planilha exportada do software PIMS-MANFRO, possui todas as ordens de serviço abertas no período escolhido pelo usuário (nesse trabalho especificamente, o parcial da safra 2017) mas sem definição explícita de sistema (elevador, hidráulico, picador, material rodante e outros). Os sistemas foram separados nas Ordens de serviço, utilizando uma busca pelo nome de componentes relacionados ao sistema. Para reunir os dados a respeito do sistema hidráulico por exemplo, uma das palavras buscadas é "mangueira", para que filtre somente itens relacionados ao sistema hidráulico.

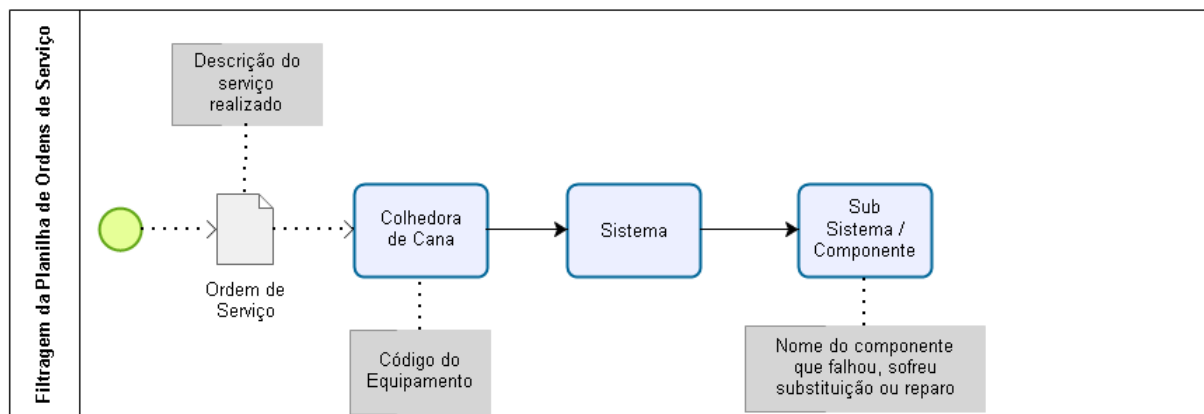


Figura 15 – Filtro de sistema das colhedoras de cana analisadas

Fonte: Autor

A figura 16 permite a visualização da planilha e suas colunas, com as informações do tipo de colhedora, código do equipamento, tipo de manutenção realizada.

D	E	F	G	H	I	J
Descrição	Código	Descrição	Origem		Código	Descrição
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020224	COLHEDORA 3520 342 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020200	COLHEDORA 3520 342 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020024	COLHEDORA 3510 332 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020029	COLHEDORA 3520 342 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020174	COLHEDORA 3520 342 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	23020254	COLHEDORA A 8800 330cv 2L
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	23020251	COLHEDORA A 8800 330cv 2L
Preventiva Base Condição	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020235	COLHEDORA 3520 342 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020024	COLHEDORA 3510 332 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020223	COLHEDORA 3520 342 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020024	COLHEDORA 3510 332 cv
Corretiva Emergencial	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020200	COLHEDORA 3520 342 cv
Preventiva Base Condição	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020030	COLHEDORA 3520 342 cv
Preventiva Base Condição	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020174	COLHEDORA 3520 342 cv
Preventiva Base Condição	1502	MANUTENÇÃO EXTERNA	Campo	Equipto	13020023	COLHEDORA 3510 332 cv

Figura 16 – Planilha das ordens de Serviço

Fonte: Autor

Os valores de entrada e saída da ordem de serviço se referem ao tempo em que

a máquina esteve em reparo, com serviço em andamento. Após a finalização da ordem de serviço a máquina volta a operação. Considerando N como uma ordem de serviço finalizada para determinado sistema, o tempo de funcionamento do sistema foi definido como a data e horário de abertura da ordem de serviço N+1 subtraído da data e horário de encerramento da ordem de serviço N. Portanto, esse é o período que o sistema passou em operação. A figura 17 explicita mais informações presentes na planilha de ordens de serviço exportada pelo software PIMS-MANFRO

P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
Entrada	Saída Prevista	Saída	Km/H Objeto	Tempo de Permanência	Serviço	Observação			
01/04/2017 02:00	01/04/2017 23:00	01/04/2017 02:30	4031	0,5	VAZAMENTO NA CONEXÃO DO PISTÃO LADO ESQUERDO / QTH FAZENDA				
01/04/2017 04:22	01/04/2017 23:00	01/04/2017 05:52	3853	1,49	COLOCAR BUCHA NO EIXO DO ELEVADOR / QTH FAZENDA OURO VERDE				
01/04/2017 06:52	01/04/2017 23:00	01/04/2017 08:58	4031	2,09	TRAVOU ESTEIRA DO ELEVADOR / VERIFICAR PARTE ELETRICA N				
01/04/2017 07:02	01/04/2017 23:00	01/04/2017 10:18	14556	3,27	VAZAMENTO NO MOTOR DE RODA / TROCAR MOTOR ROLO TRAN				
01/04/2017 07:42	01/04/2017 09:00	01/04/2017 09:00	9279	1,29	ESTICAR ESTEIRA ELEVADOR/ COLHEITA MUDA FAZENDA CACHO				
01/04/2017 07:56	01/04/2017 11:00	01/04/2017 09:05	6962	1,14	SOLDAR DIMSOR DE LINHA LADO DIREITO/ F01** (Finalizada por JOA				
01/04/2017 08:23	01/04/2017 13:00	01/04/2017 13:00	6951	4,61	SUPORTE TAMBOR DESPONTADOR ESTA CAINDO/ F01 PT 18308**				
01/04/2017 10:53	01/04/2017 15:00	01/04/2017 15:30	3724	1,67	MANUTENÇÃO PREVENTIVA// F04 PT: 14768** (Finalizada por SUELLI				
01/04/2017 11:11	01/04/2017 15:00	01/04/2017 12:42	12221	1,5	PAROU ULTIMO ROLO FIXO// F02 PT 18253** (Finalizada por JOAOG)**				
01/04/2017 13:44	01/04/2017 14:00	01/04/2017 14:17	3989	0,55	TROCAR MANGUEIRA SUPENSAO// F02 SANTA PAULA** (Finalizada				
01/04/2017 13:46	01/04/2017 14:00	01/04/2017 17:00	12221	3,23	TROCAR FACAO, TROCAR ROLAMENTO DO PICADOR // F02 SANTA				
01/04/2017 13:56	01/04/2017 14:00	01/04/2017 14:11	3874	0,24	CORTAR CHAPA GUIA LADO ESQUERDO // F03** (Finalizada por JOA				
01/04/2017 12:40	01/04/2017 12:45	01/04/2017 13:00	15550	0	LUBRIFICAÇÃO GERAL/ COLHEITA MUDA** (Finalizada por JOAOG)**				
01/04/2017 13:00	01/04/2017 13:15	01/04/2017 13:40	9279	0	LUBRIFICAÇÃO GERAL/ COLHEITA MUDA** (Finalizada por JOAOG)**				
01/04/2017 13:41	01/04/2017 14:00	01/04/2017 14:10	12172	0	LUBRIFICAÇÃO GERAL/ COLHEITA MUDA** (Finalizada por JOAOG)**				
01/04/2017 14:44	01/04/2017 15:00	01/04/2017 19:26	6977	4,7	ESTOUROU MANGUEIRA HIDRAULICA// F01 SANTA LUZIA PT=18315				
01/04/2017 14:47	01/04/2017 15:00	01/04/2017 15:07	6658	0,32	QUEBROU OS PARAFUSOS DO FLANGE DO MOTOR CORTE LATEF				
01/04/2017 16:47	02/04/2017 16:47	01/04/2017 18:11	6599	1,4	TROCAR MANGUEIRA DO PISTAO DA ESTEIRA RODANTE / FAZ. SA				
01/04/2017 18:17	02/04/2017 18:17	01/04/2017 23:27	7056	5,15	QUEBROU SUPORTE DA CAIXA DO CORTE DE BASE, REAPERTAR				
01/04/2017 18:52	02/04/2017 18:52	01/04/2017 20:17	4276	1,4	PAROU GIRO DO ELEVADOR / FAZ. CORREGO DA MATA F4 CCT P1				

Figura 17 – Planilha das ordens de Serviço

Fonte: Autor

Portanto para o levantamento da confiabilidade e as métricas discutidas no Referencial Teórico, foram definidos um conjunto de palavras para filtrar e avaliar 7 sistemas, que são:

- Sistema Hidráulico;
 - Hidráulico
 - Bloco;
 - Comando;
 - Cilindro;
 - Mangueira;
 - Motor Hidráulico;

- Acumulador;
 - Bomba;
 - Charl (se referindo a Charlyn ou Charlim);
- Sistema Extrator Primário;
 - Extrator;
- Sistema Elevador;
 - Elevador;
- Sistema Corte de Base;
 - Extrator;
- Sistema Divisor de Linha;
 - Divisor de Linha;
 - Pirulito;
- Sistema Material Rodante;
 - Material Rodante;
 - Redução Final;
 - Cubo Redutor;
 - Esteira;
 - Rolete;
- Sistema Picador;
 - Picador;
 - Facão;

De acordo com [Fogliatto e Duarte \(2009\)](#), a confiabilidade e taxa de falha são funções de um período de tempo e sobre isso decorrem os seguintes cuidados para essa metodologia:

- A variável aleatória deixa de ser X (unidade clássica da estatística) e passa a ser T ;
- O tempo T pode ser analisado considerando ciclo de vida, número de milhas ou outra representação indireta de tempo, duração. Para o presente trabalho foi utilizado a análise ao longo dos meses de Abril de 2017 ao final de Agosto de 2017, sendo uma safra completa geralmente de março a novembro;

- A especificação de confiabilidade deve estar amarrada a especificação do tempo. Um simples valor de confiabilidade sem situar o período de análise não é conclusivo;
- Um dos pontos mais importantes da análise de confiabilidade é que a resolução para a medição nem sempre é rígida, óbvia. Pode ser definido diferentes meios de se obter e de apresentar a escala de valores da confiabilidade de um mesmo item.

Desse modo os cálculos e procedimentos realizados serão descritos seguindo as métricas indicadas no referencial teórico.

3.3 Métricas de análise para o estudo de caso

Nessa seção será discutido de maneira descritiva quais as considerações para os levantamentos e tratamento de dados do estudo de caso.

3.3.1 MTBF - *Mean time between failures* (Do português Tempo Médio Entre Falhas - TMEF)

De acordo com a distribuição Weibull o cálculo realizado para o MTBF emprega a Equação 3.1:

$$u = \theta \gamma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3.1)$$

Onde:

- Para γ é necessário considerar o valor para a distribuição/função Gamma;
- θ é o parâmetro de escala;
- β é o parâmetro de forma.

A variável do tempo utilizado para cálculo será T em Horas.

3.3.2 Disponibilidade Física de Máquinas

A Equação 3.2:

$$DF = \frac{\text{Horas Trabalhadas}}{\text{Horas Totais do Período}} \quad (3.2)$$

Os levantamentos serão da Disponibilidade Física:

- Por semana;
- Por mês.

3.3.3 Índice de Corretiva

A Equação 3.3 é:

$$\text{Índice de Corretiva} = \frac{\sum \text{Horas de Corretiva}}{\sum \text{Horas de Corretiva} + \sum \text{Horas de Preventiva}} \quad (3.3)$$

3.3.4 Diagrama de Pareto

A utilização do Diagrama de Pareto lista as peças, componentes e subsistemas que falharam, criando assim um levantamento relacionando a frequência de problemas e permitindo priorizar problemas e ajudar no combate a situações que diminuem a confiabilidade das máquinas e consequentemente a disponibilidade.

3.3.5 Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

De acordo com X gráficos de controle são técnicas comprovadas para melhoria de produtividade, reduzindo perdas e retrabalho. São úteis para prevenir defeitos e permitem uma decisão mais assertiva a respeito de ajustes no processo. A capacidade do processo está diretamente ligada com o gráfico de controle, demonstrando por exemplo se há ou não estabilidade do processo ao longo do tempo. Para o estudo de caso presente, é valioso monitorar o número de defeitos em uma unidade (no caso a colhedora de cana-de-açúcar). Para essa situação utiliza-se o gráfico U com o limite superior de controle - LSC e pelo limite inferior de controle - LIC:

$$LSC = u + 3\sqrt{\frac{u}{n}} \quad (3.4)$$

$$LC = u \quad (3.5)$$

$$LIC = u - 3\sqrt{\frac{u}{n}} \quad (3.6)$$

Sendo:

- n é o número de amostras;
- $u = \frac{\sum \text{Defeitos por Unidade}}{n}$

São 8 colhedoras avaliadas, mencionadas no início do Capítulo 3, onde cada amostra foi colhida semanalmente. O grupo de colhedoras Case possui avaliação durante mais semanas em função das colhedoras da marca John Deere serem novas, entraram em operação aproximadamente no final do mês de abril/2017.

3.3.6 Quantificando a Confiabilidade

A discussão realizada na Seção 3.3.6 e Seção 2.4 embasa a metodologia aplicada onde a confiabilidade R para um modelo de distribuição Weibull é expressa pela Equação 3.7

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (3.7)$$

As variáveis:

- T é o tempo no qual se deseja a confiabilidade R ;
- β é o parâmetro de forma da distribuição Weibull
- θ é o parâmetro de escala
- δ é o parâmetro de posição

Nesse estudo de caso o parâmetro δ foi considerado zero porque pressupõe que assim que o equipamento entra em operação existe a possibilidade de falha, como discutido na Seção 2.4

3.3.7 Taxa de falha - Função de Risco

A taxa de falha h para aplicação no estudo de caso, com utilização do modelo de distribuição Weibull é obtida através de:

$$h(T) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{T-\delta}{\theta}\right)^{(\beta-1)} \quad (3.8)$$

As variáveis:

- β é o parâmetro de forma da distribuição Weibull
- T tempo em horas;
- θ é o parâmetro de escala
- δ é o parâmetro de posição

Nesse estudo de caso o parâmetro δ foi considerado zero porque pressupõe que assim que o equipamento entra em operação existe a possibilidade de falha, como discutido na Seção 2.4

3.4 Tratamento de dados

3.4.1 Hazzard Plotting e Probablity Plotting

A estimativa dos parâmetros β e θ da distribuição Weibull foi realizada com o método de *Hazzard Plotting* inicialmente, sendo esse método uma linearização de $H(x)$. Porém após a não convergência dos valores, apresentando β negativo para alguns cassos, tal método foi abandonado. É definido por:

$$H(x) = -\ln[1 - F(x)] \quad (3.9)$$

Lembrando que $F(x)$ é a Equação 2.8. O método de *Probability Plotting* é outra forma de estimar parâmetros da função Weibull também através da linearização da distribuição cumulativa. (DODSON; SCHWAB, 1962)(RELIASOFTBRASIL, 2005)(FREITAS; COLOSIMO, 1997)

3.4.2 Máxima Verossimilhança

Portanto para o cálculo das seções 3.3.6 e 3.3.7 é necessário do levantamento dos parâmetros β e θ , feito através do presente método. O método de máxima verossimilhança trata o problema de estimação baseando-se nos resultados obtidos pela amostra. Se por exemplo, a distribuição do tempo de falha é a de Weibull, para cada combinação diferente de β e θ tem-se diferentes distribuições de Weibull. O estimador de máxima verossimilhança escolhe aquele par de β e θ que melhor explica a amostra observada. É um método não analítico, sem possibilidade de solução analítica, porque é impossível isolar o parâmetro β de forma independente na equação, sendo necessário a utilização de um algoritmo para resolver um método numérico, por exemplo, de Newton-Raphson ou Bissecção. Foi utilizado um algoritmo em MATLAB para um método numérico da bissecção, buscando encontrar o valor de Beta, sendo esse a raiz da seguinte função:

$$\frac{\sum t^\beta * \ln t}{\sum t^\beta} - \frac{1}{\beta} - \frac{1}{n} \sum \ln t = 0 \quad (3.10)$$

Em que:

- β é o parâmetro de forma.

Obtendo β o valor de θ é encontrado através de:

$$\Theta = \frac{1}{n} [\sum t^\beta]^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.11)$$

Aplicando os dois parâmetros encontrados nas equações das seções 3.3.6 e 3.3.7 podem ser estimadas confiabilidade e função de risco (taxa de falha). (FOGLIATTO; DUARTE, 2009) (RELIASOFTBRASIL, 2005) (ACTION,)

4 Resultados e Discussões

Como descrito na metodologia, as métricas foram levantadas com o uso de dados fornecidos pela unidade produtiva também explicitada no capítulo anterior. Os dados das ordens de serviços no período da safra foram determinantes e serviram de base para o desenvolvimento dos itens a seguir.

4.1 Disponibilidade Física de Máquinas

Essa métrica tem relação direta com o conceito de confiabilidade e com a qualidade do processo de manutenção. Embora esteja representada em função da porcentagem de tempo disponível dentro do período analisado, como explicado na equação 3.2, também pode ser avaliada através do MTTF/MTBF considerando que uma unidade produtiva possui basicamente duas condições, em operação ou em reparo (manutenção) a posse dos tempos de operação e condição nas OS's dão condição para avaliar a disponibilidade em função de um tempo t . A avaliação da disponibilidade física de máquinas, é mostrada na tabela 4, (como citado no capítulo 3) e confirma o esperado, que a disponibilidade para as colhedoras John Deere é de 10 a 15 por cento maior.

Tabela 4 – Disponibilidade Física de Máquinas

Modelo Colhedora	Código do Equipamento	Disponibilidade Física de Máquinas
John Deere CH 570	13020206	92%
John Deere CH 570	13020291	87%
John Deere CH 570	13020292	88%
John Deere CH 570	13020293	90%
Case A8800	23020250	78%
Case A8800	23020251	80 %
Case A8800	23020252	81%
Case A8800	23020253	78%

A razão de tal fato se deve pelo tempo de uso dos equipamentos, sendo as colhedoras John Deere em questão, equipamentos novos, que tiveram o uso iniciado na safra de 2017. É importante ressaltar que a baixa variação de porcentagem entre os equipamentos de mesma marca ainda demonstram uma sensível diferença quando considerado o valor em horas.

4.2 Índice de Corretiva

Nos mesmos moldes da seção anterior, o índice de corretiva é uma importante análise a respeito do tipo de manutenção realizada no equipamento. As influências do tipo de manutenção foram discutidas no capítulo 2.1 O índice de corretiva provém da razão entre horas de manutenção corretiva pelas horas totais de manutenção realizada e está apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Índice de Corretiva

Modelo Colhedora/Código	Horas de Manutenção	Horas de Corretiva	Índice de Corretiva
John Deere CH 570 - 13020206	212,1	111,24	52,4%
John Deere CH 570 - 13020291	469,49	316,84	67,5%
John Deere CH 570 - 13020292	494,47	332,31	67,5%
John Deere CH 570 - 13020293	375,02	180,01	48%
Case A8800 - 23020250	782,27	608,92	77,8%
Case A8800 - 23020251	718,5	517,27	72,0%
Case A8800 - 23020252	682,95	466,77	68,3%
Case A8800 - 23020253	782,57	576,5	73,7%

As colhedoras John Deere CH570 de código 13020291 e 13020292 possuem alto índice de corretiva, sendo um agravante pelo fato prévio conhecido de que são equipamentos novos, que entraram em operação na safra analisada pelo presente trabalho. A alta taxa de corretiva é característica do processo de manutenção agrícola do setor sucroalcooleiro, embora não seja desejável um valor tão alto de corretiva por demonstrar instabilidade no processo. Ainda assim, a conjuntura das variáveis de operação, interação da máquina com ambiente, interferência de manutenção justificam os valores.

4.3 Diagrama de Pareto

Baseado no princípio de pareto, também conhecido como a regra 80/20 é possível diante dessa métrica, estabelecer prioridades de intervenção, analisando com maior rigor os problemas. Identificar os pontos especiais, dará prioridade na resolução de problemas. Uma questão importante a ser ressaltada é que o diagrama de pareto se torna mais conclusivo quando acompanha uma análise do custo daquele problema diante do orçamento total. Não é sempre que uma alta frequência de defeitos requer atenção, um exemplo disso são os casos em que o custo da falha daquele componente ou sistema não são representativos a ponto de justificar uma intervenção.

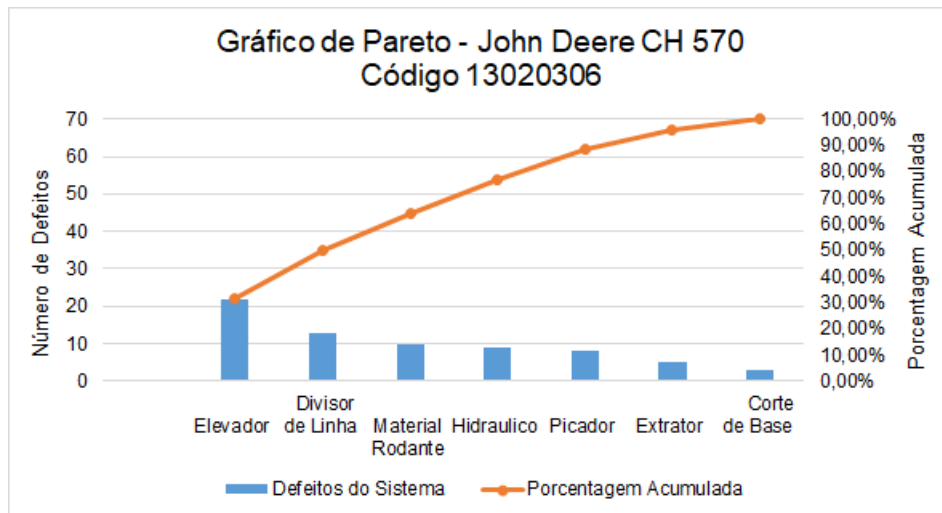


Figura 18 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

Na figura 18 acima o elevador é um subsistema que merece atenção, para essa colhedora do código 13020306. Em contato com o departamento de manutenção um sistema crítico para análise é o elevador. Independente da marca da colhedora é um componente com considerável quantidade de falhas, representando na imagem 22 falhas, responsáveis por pouco mais de 30 por cento das ocorrências totais.

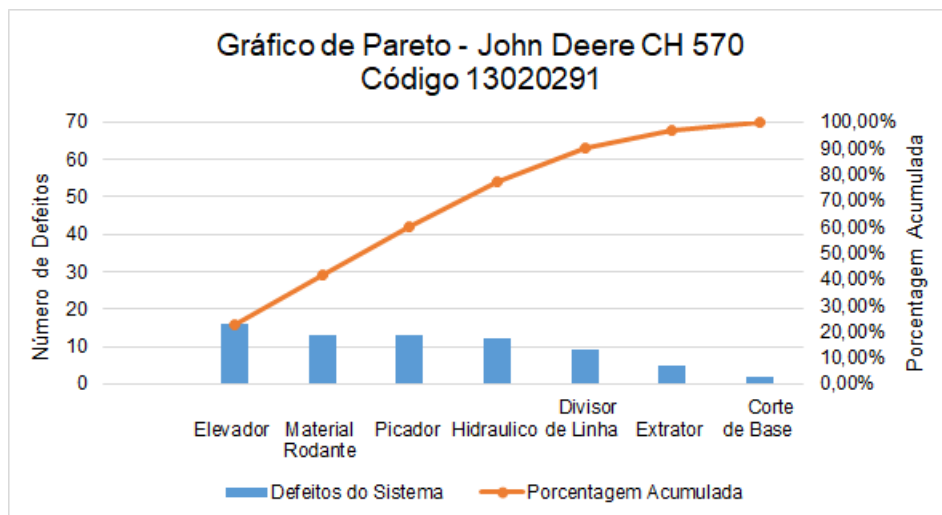


Figura 19 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

A frequência acumulada dos problemas na figura 19 mostra os três primeiros sistemas com semelhança de frequência de ocorrência, não havendo abrupta diferença entre as frequências de falha como ocorre em outros processos avaliados pelo diagrama de pareto.

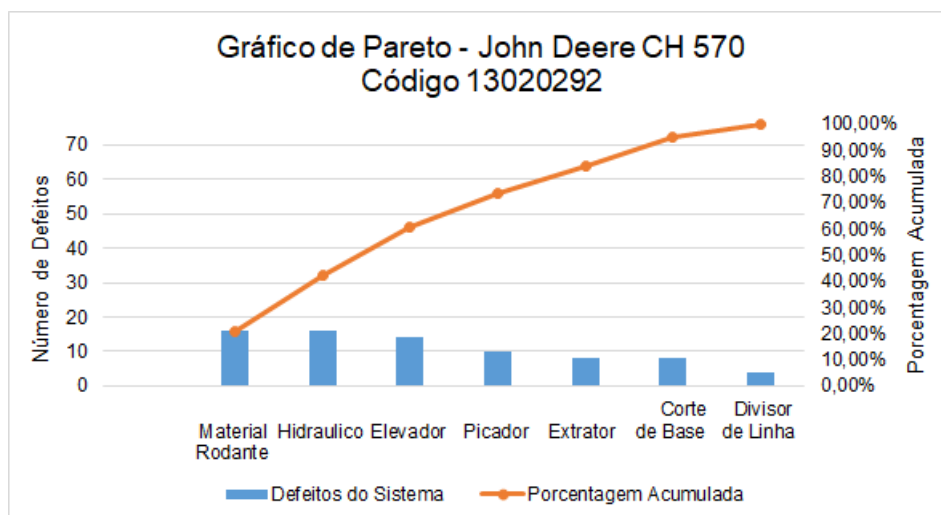


Figura 20 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

Para a imagem 20 o sistema hidráulico está em grande parte dos casos dos diagramas de pareto, presente nas primeiras posições. Ainda assim, os principais registros de serviços estão relacionados a substituição de mangueiras, conexões, vazamentos e outras mecanismos de falha simples e primários. Alguns defeitos desses pequenos componentes não impactam gravemente no orçamento do departamento de manutenção, exceto quando o volume é alto, acarretando em custo acumulado excessivo.

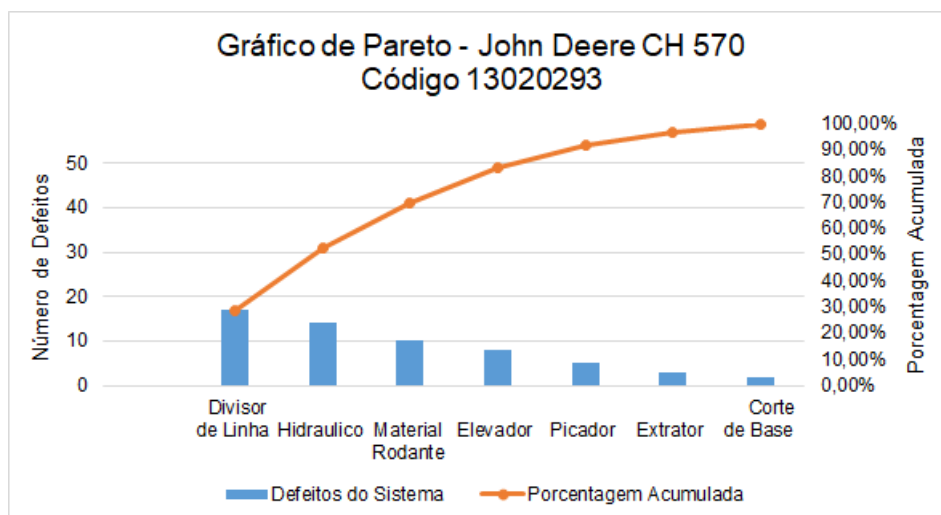


Figura 21 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

O divisor de linha está em constante desgaste pelo contato com a cana-de-açúcar, o solo e eventuais choques existentes e inesperados durante o deslocamento do equipamento e o processo de colheita. Por conseguinte, a figura 21 explicita a intuitiva situação operacional.

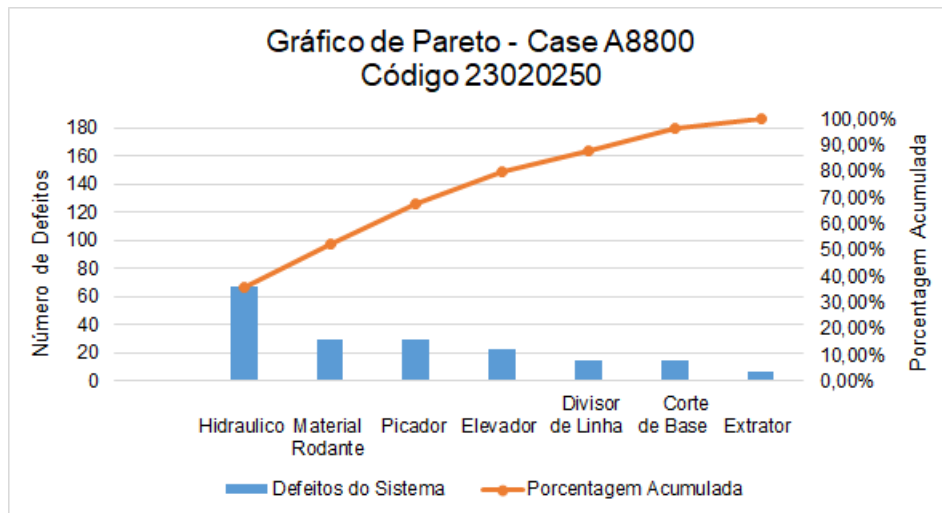


Figura 22 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

Na análise das colhedoras Case, é possível perceber a predominância de um sistema em relação aos demais tanto para a colhedora da figura 22, quanto a 25. Ambas com maior frequência de problemas no sistema hidráulico.

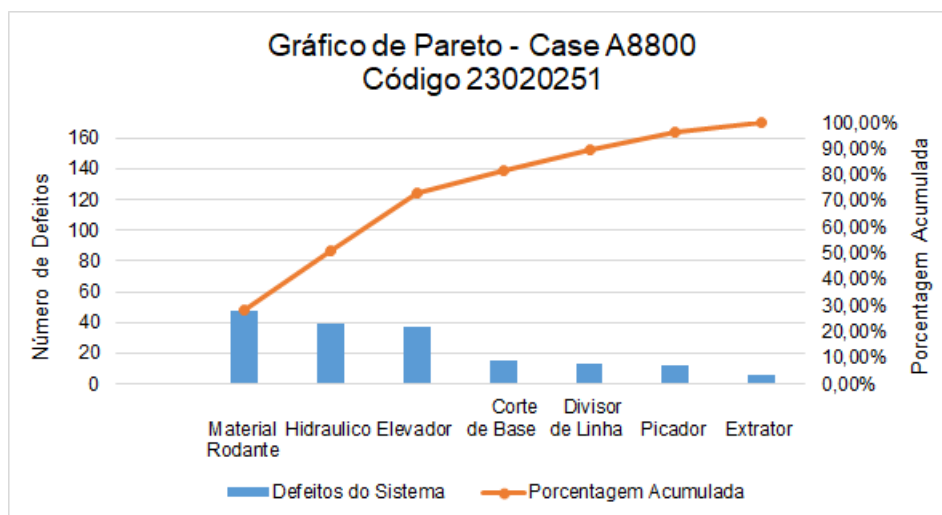


Figura 23 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

O material rodante é um sistema com periodicidade de falha por conta do desgaste de grande relação com a operação e o ambiente externo de trabalho. A análise da fig 23 O preço dos componentes possui considerável comprometimento do orçamento, além do tempo gasto com reparo ser comumente maior.

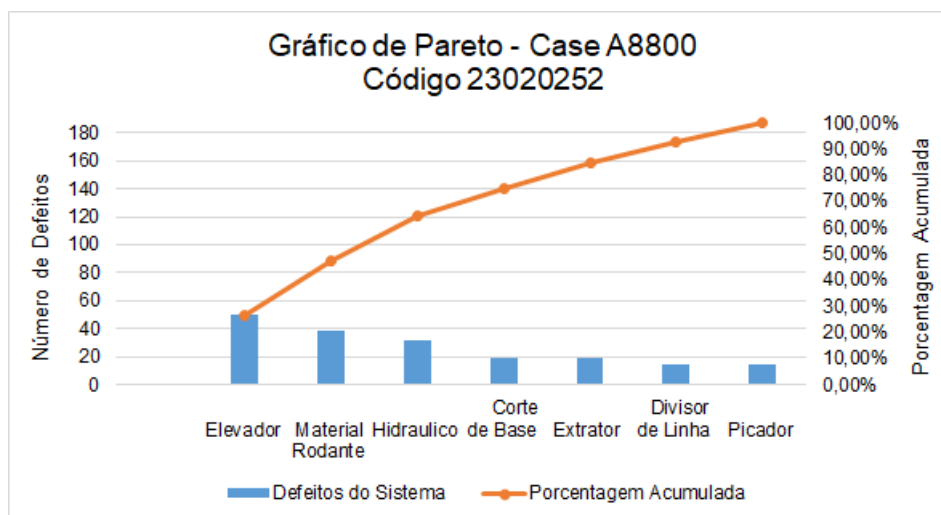


Figura 24 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

Os itens como extrator, corte de base são de baixa influência nos diagramas apresentados, embora o período de análise não tenha incluído o final da safra que deve causar aumento na frequência de falha do sistema de corte de base e picador. A figura 25 mostra baixa influência do extrator nos defeitos da colhedora 23020253.

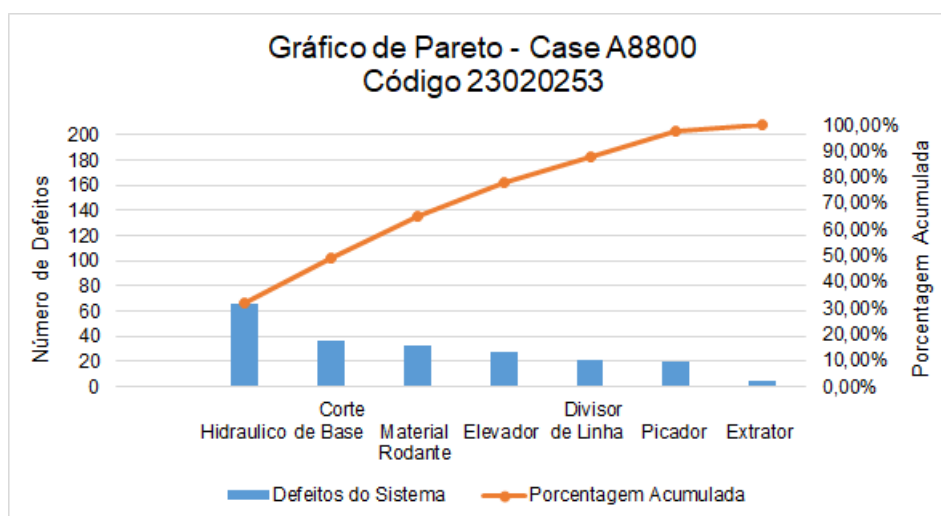


Figura 25 – Diagrama de Pareto de Colhedora de Cana de Açúcar

4.4 Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

Como discutido no 3.3.5, as amostras foram retiradas semanalmente. O eixo X, das figuras 26, 27, 28 e 29 estão em semanas, completando todo o período de abril a agosto de 2017. Através das discussões de 2.2.9 a importância na visualização do gráfico de controle está na capacidade de compreender se há variabilidade no processo ou algum comportamento estável, ou seja, reconhecer o padrão de comportamento. Feito isso, a razão para

tal comportamento pode ser melhor compreendida, o que inclui um domínio a respeito do processo analisado. De acordo com [Montgomery \(2009\)](#) existe um conglomerado de condições de decisão para detectar padrões não aleatórios de comportamento nos gráficos de controle. Tal conjunto de regras, conhecido como Regras Western Electric define que:

- Um ponto cair fora dos limites $3\text{-}\sigma$;
- Dois de três pontos consecutivos caírem além do limite 2-sigma
- Quatro de cinco pontos consecutivos caírem a uma distância de 1-sigma ou além da linha central
- Oito pontos consecutivos caírem em um lado da linha central

4.4.1 Controle Estatístico - Colhedoras CASE

De acordo com as cartas de controle e as considerações para os gráficos das colhedoras Case, a figura 26 está dentro de controle, com estabilidade no processo, sendo o padrão de comportamento desejável. Embora o processo aconteça dentre os limites, a seção 4.6 discute de forma mais abrangente o motivo de mesmo dentro de controle, o desempenho não é satisfatório.

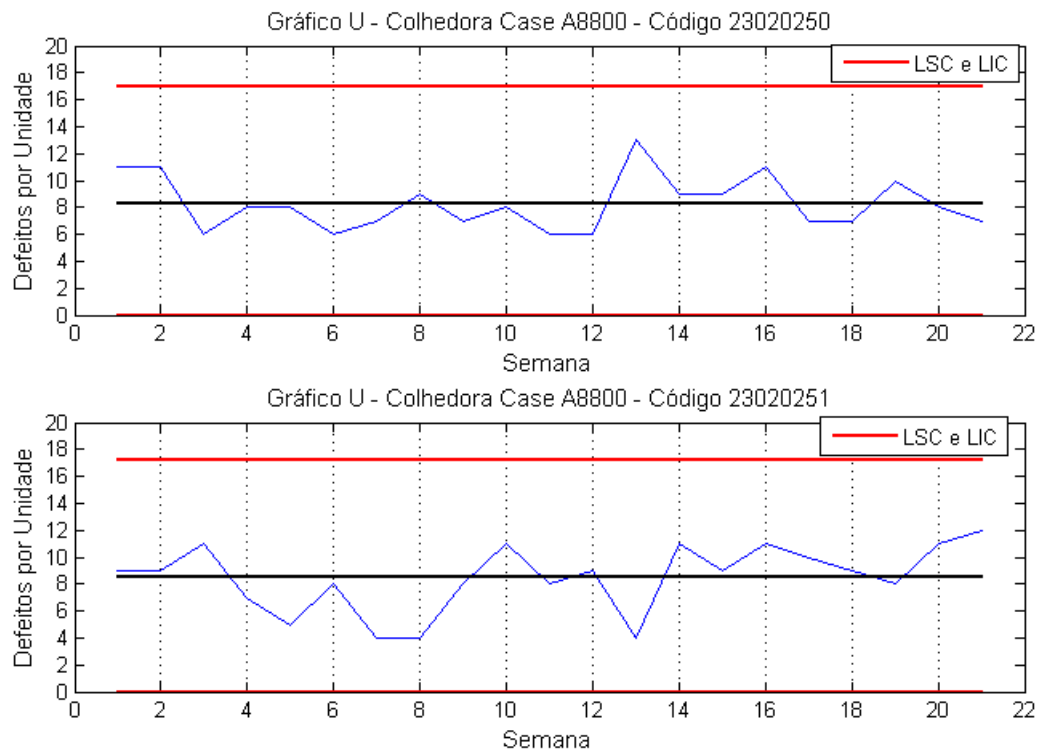


Figura 26 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

Ainda que exista uma estabilidade nos gráficos de controle e mesmo com adequação diante dos quatro itens das Regras Western Electric, o alto número de defeitos encontrados, mesmo que dentro do aceitável serve de alerta.

A figura 27 revela desempenho particular, principalmente para a colhedora de código 23020252. O aumento das falhas, até a quase fuga de dois pontos acima do Limite Superior de Controle pode ser facilmente percebido. O acréscimo das falhas ao longo do período analisado demonstra uma tendência de descontrole com a aproximação do final de safra da unidade avaliado, produtora de cana-de-açúcar.

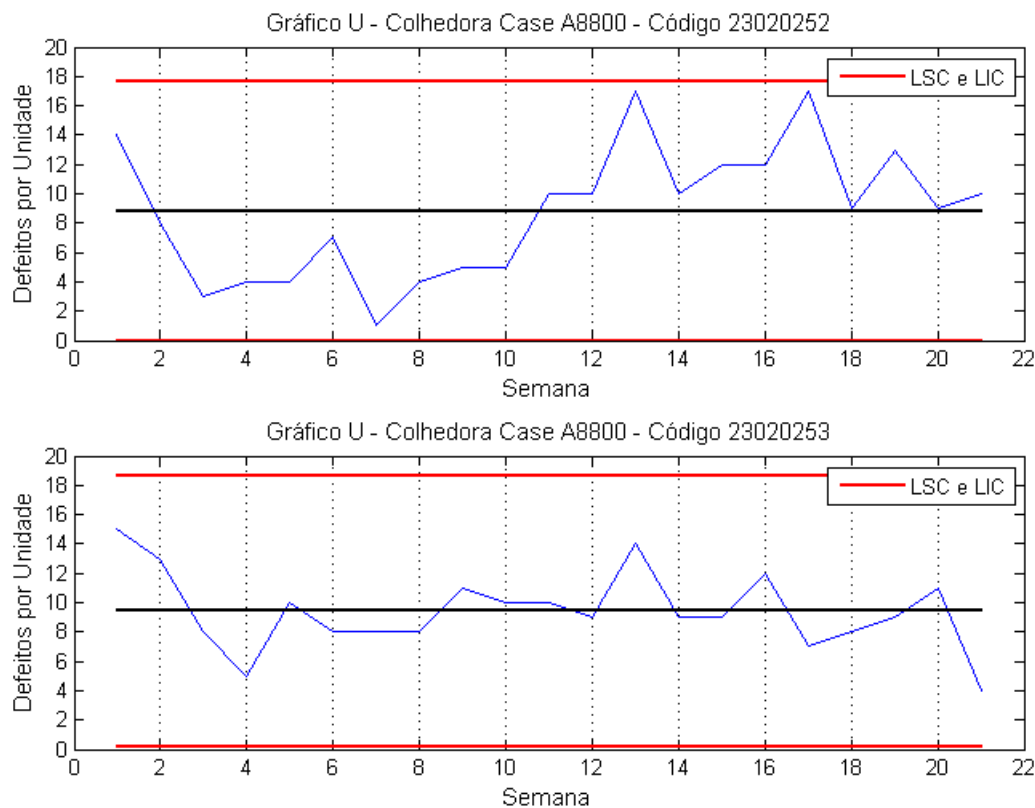


Figura 27 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

4.4.2 Controle Estatístico - Colhedoras John Deere

O intuito das avaliações não são a comparação de marcas entre os diferentes equipamentos. Como mencionado em 3 as colhedoras do modelo John Deere CH 570 foram adquiridas novas, no ano do período de análise. O período do eixo X (eixo horizontal) das figuras 28 e 29 possuem um número menor de semanas, levando em consideração o fato das colhedoras John Deere analisadas não terem começado a operação juntamente ao início do período analisado, começo de abril ed 2017.

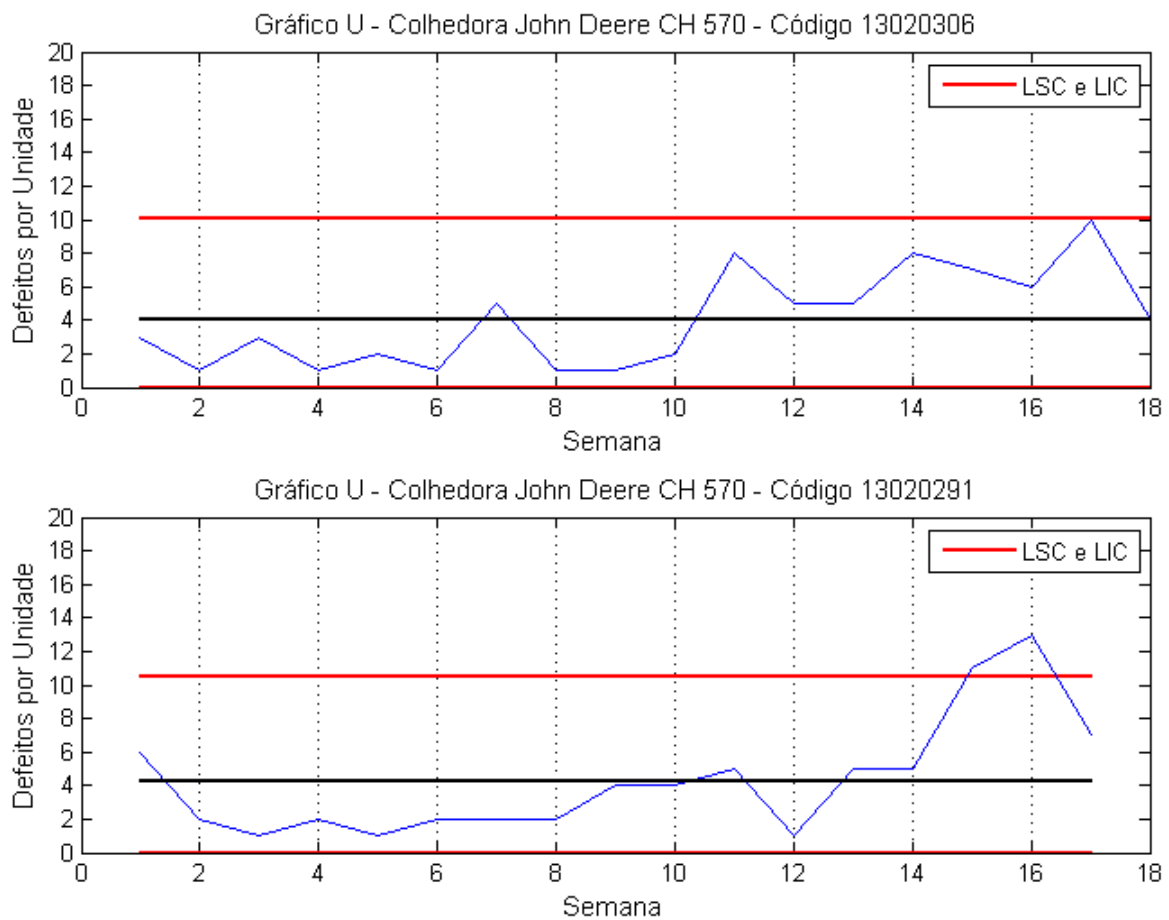


Figura 28 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

A disparada de falhas dentro do processo com o andamento da safra mostra que o desgaste com as horas de trabalho afeta significativamente os elementos de máquinas e os sistemas das colhedoras de cana-de-açúcar. As colhedoras John Deere CH 570 apresentam aumento das falhas ao longo do processo, porém dentro dos limites de controle, o que não justifica por hora a compra ou substituição de novos equipamentos de colheita. Os equipamentos John Deere estavam no ano de 2017 na primeira safra e com isso, é conclusivo perceber que a quantidade de falhas é sensivelmente menor que o das máquinas já usadas do outro grupo, fabricante CASE. Ainda na figura 29, o final do período apresenta ponto fora do limite superior de controle (LSC). De acordo com as cartas de controle mencionadas no início da presente seção, um ponto está fora do limite 3σ na décima quinta e décima sexta semana após aumento sucessivo dos eventos de falha ao longo do período, culminando ena referida extrapolação.

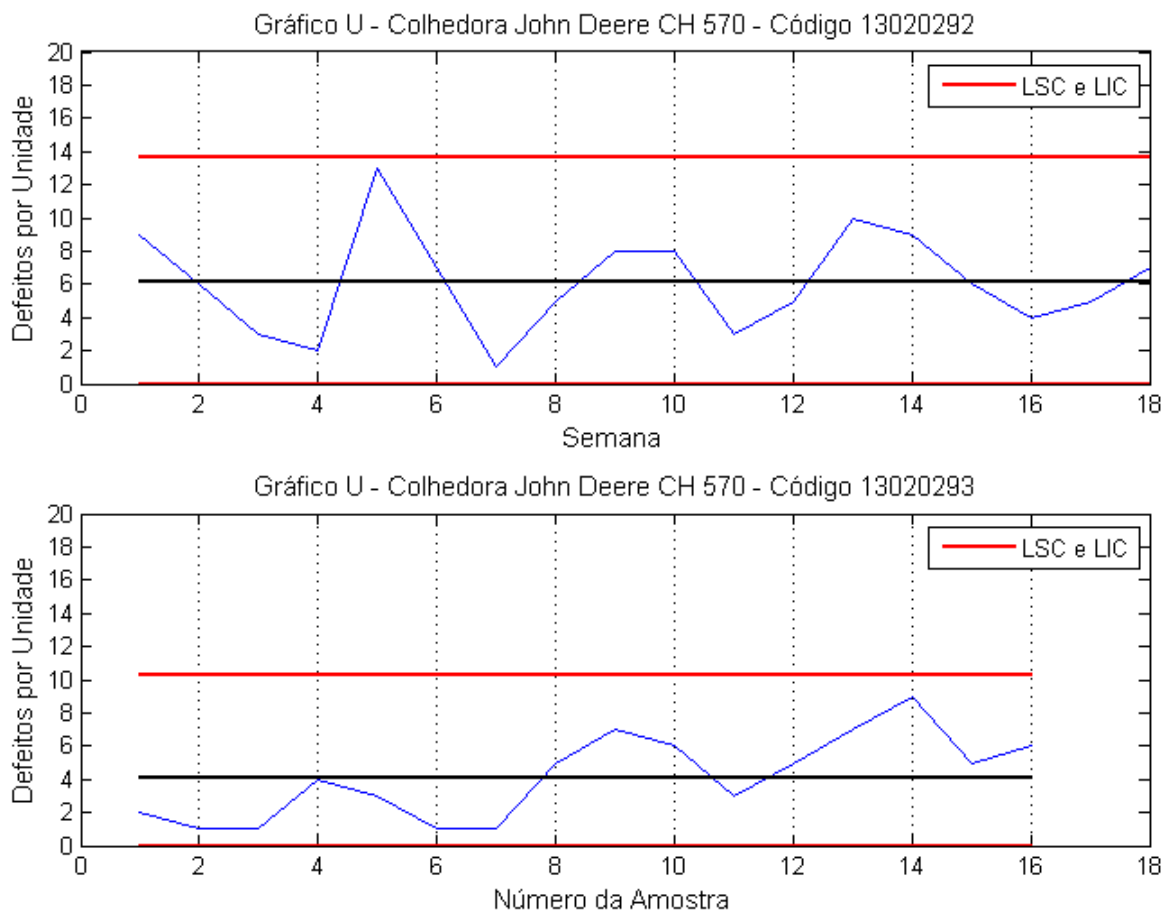


Figura 29 – Controle Estatístico de Processo - Gráfico U

Enquanto a colhedora 13020292 apresenta variações aleatórias com grande amplitude entre as falhas dos períodos próximos na figura 29, a colhedora 13020293 tem tendência definida de crescimento ao longo do tempo, com formato de dente serrilhado, crescendo com proporcionalidade. Nota-se que a amplitude no gráfico de controle altera de maneira considerável os Limites Superior de Controle e a linha central.

4.5 Parâmetros da distribuição Weibull

Apresentado no capítulo 2.4 os parâmetros da distribuição weibull se adequam a maneira como os dados estão dispostos, podendo, dependendo do parâmetro, se assemelhar a várias distribuições de probabilidade. Um ponto muito importante do presente estudo é definir tais parâmetros para evoluir nas tratativas de MTBF, termo inglês para designar tempo médio entre falhas, gráficos de confiabilidade e a função de risco (ou taxa de falha).

A seguir os parâmetros para alguns dos principais sistemas presente nas quatro colhedoras Case e quatro John Deere.

4.5.1 Parâmetros de Weibull para os sistemas das colhedoras Case A8800

Os valores de β e θ aqui presentes na tabela 6 serão amplamente discutidos na seção 4.6 em relação a suas influências nos assuntos explicitados no capítulo 3.

Tabela 6 – Parâmetro β para as colhedoras Case A8800

	23020250	23020251	23020252	23020253
Sistema Hidráulico	0,99	0,89	0,77	1,01
Extrator	0,58	0,79	0,83	0,94
Elevador	1,30	0,94	0,91	0,94
Corte de Base	0,80	0,89	0,89	0,83
Divisor de Linha	0,94	1,10	0,71	0,83
Material Rodante	0,94	0,79	0,97	0,82
Picador	0,73	0,61	0,64	1,09

O valor de θ , parâmetro de escala, melhor definido como vida característica na tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetro θ para as colhedoras Case A8800 (em horas)

	23020250	23020251	23020252	23020253
Sistema Hidráulico	49,63	87,4258	96,8	53,29
Extrator	339,08	527,37	171,70	703,76
Elevador	152,77	92,59	68,23	129,53
Corte de Base	215,43	227,37	178,49	89,56
Divisor de Linha	232,21	288,91	206,07	155,20
Material Rodante	116,04	62,72	90,27	98,11
Picador	84,41	207,07	184,27	186,50

4.5.2 Parâmetros de Weibull para os sistemas das colhedoras John Deere CH 570

Uma investigação nos dados revela uma grande diferença entre as duas colhedoras, que além de terem equipamentos levemente diferentes, possuem diferenças de tempo de funcionamento.

Tabela 8 – Parâmetro β para colhedoras John Deere CH 570

	13020291	13020292	13020293	13020306
Sistema Hidráulico	0,67	1,12	0,705	0,71
Extrator	2,23	0,64	1,74	2,05
Elevador	1,16	0,61	1,22	0,80
Corte de Base	0,89	1,22	1,09	5,02
Divisor de Linha	0,50	1,99	0,83	0,88
Material Rodante	1,01	0,58	0,80	0,78
Picador	0,998	1,07	1,49	1,57

Os valores de θ , vida característica, são consideravelmente maiores quando comparado em função dos mesmos sistemas. A tabela 9 apresenta os valores.

Tabela 9 – Parâmetro θ para colhedoras John Deere CH 570 (em horas)

	13020291	13020292	13020293	13020306
Sistema Hidráulico	187,67	198,53	170,58	243,46
Extrator	674,77	296,83	1142,3	651,21
Elevador	195,00	152,66	403,21	113,51
Corte de Base	1453	411,81	1560,7	1058
Divisor de Linha	166,32	879,34	161,61	204,85
Material Rodante	233,98	112,78	263,95	244,36
Picador	232,83	317,88	646,84	398,12

4.6 Confiabilidade e Função de Risco

Os gráficos aqui apresentados visam o auxílio em uma gestão de manutenção centrada em confiabilidade. A gestão de confiabilidade está ligada a fatores que vão além de quantificação matemática de gráficos e números, mas consequentemente está inserida no contexto da análise gráfica da confiabilidade dos equipamentos e suas falhas. As ferramentas a seguir são indicativos que se tornam elementos chave para definição de um plano de manutenção centrado em confiabilidade e avaliação mas não tratam normas técnicas para definição final de descarte de equipamentos ou não. (XENOS, 1998) (FOGLIATTO; DUARTE, 2009)

4.6.1 Confiabilidade e Taxa de Falha - Colhedoras Case A8800

4.6.1.1 Sistema Hidráulico

O sistema Hidráulico possui função fundamental no funcionamento principal dos componentes da colhedora. Sistemas aqui descritos dependem diretamente ou indiretamente dos princípios hidráulicos para funcionamento ideal.

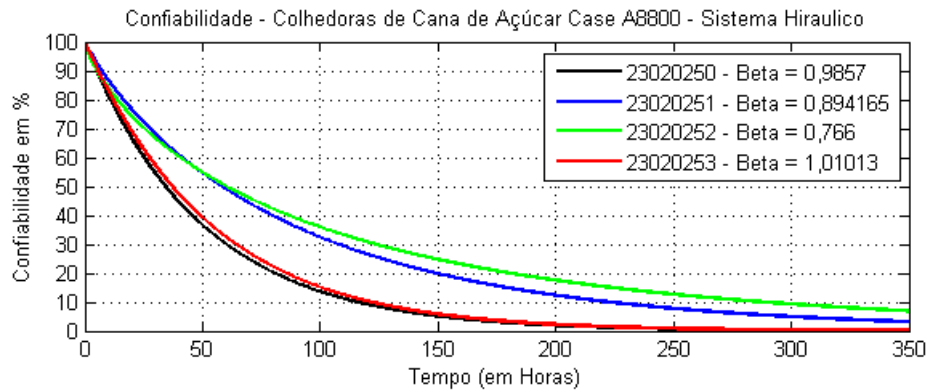


Figura 30 – Confiabilidade do Sistema Hidráulico - Colhedora Case A8800

O sistema hidráulico é composto por diversos componentes de maior valor agregado como bombas, blocos e comando hidráulico além de itens simples como conexões, mangueiras e anéis de vedação. De acordo com o que foi apresentado no início dessa seção, quando $\beta < 1$, o comportamento do gráfico da taxa de falha é considerado de mortalidade infantil. O valor de β mais alto infere em uma suavidade maior no decréscimo da curva de confiabilidade, embora seja claro na figura 30 que as curvas de maior valor para o parâmetro β não possuem suavidade, tendo acentuada queda da confiabilidade. Isso se deve ao valor de θ , conhecido como parâmetro de escala ou vida característica. Quando a vida característica (θ) de um componente ou sistema é baixa, a confiabilidade consequentemente diminui ao longo de todo o tempo.

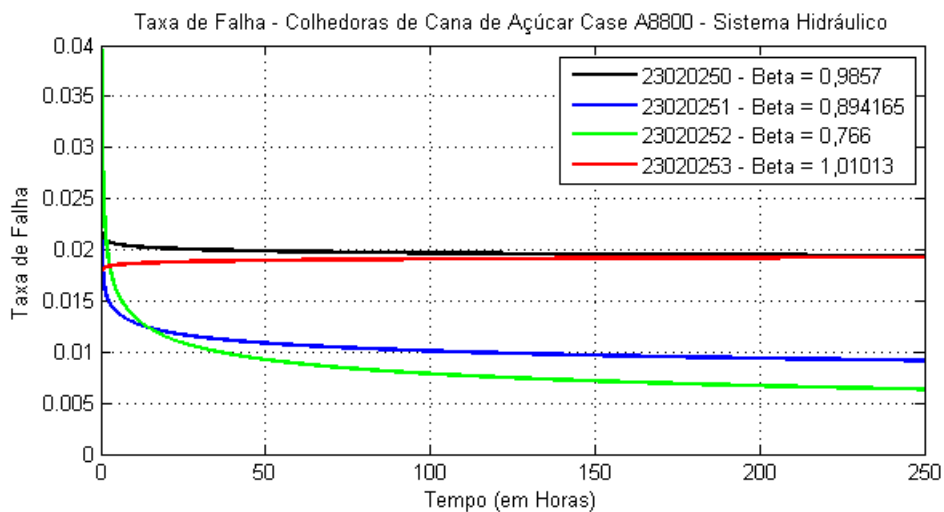


Figura 31 – Taxa de Falha do Sistema Hidráulico - Colhedora Case A8800

Toda análise feita sobre a taxa de falha necessita estudo da curva da banheira. O valor de β para a colhedora 23020252 pode ser visto na figura 31 mostra alto comportamento de mortalidade infantil, inicial, o que não é desejado para o sistema produtivo.

4.6.1.2 Sistema Extrator

No sistema extrator, responsável por extrair palha da cana de açúcar já picada, o alto valor da vida característica (θ) chama atenção. Tal discrepância pode ser percebida na figura 32 quando com as informações provenientes do diagrama de pareto, nos mostrando a baixa influência do extrator nas falhas da colhedora 23020253 e também o controle estatístico de processo.

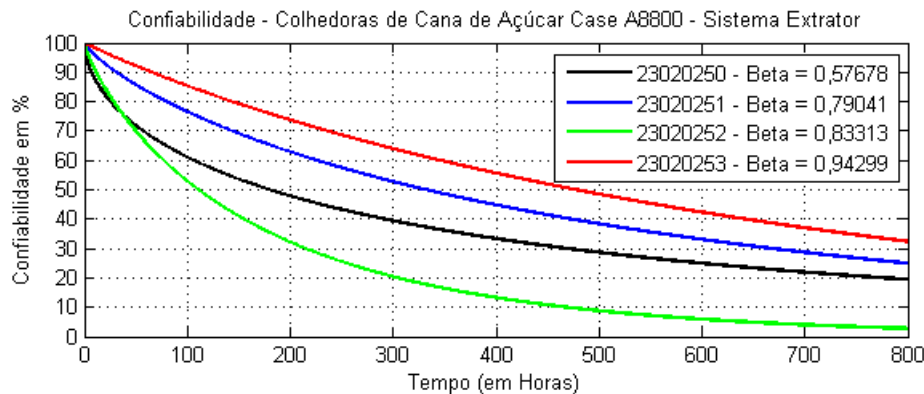


Figura 32 – Confiabilidade do Sistema Extrator - Colhedora Case A8800

O valor de θ elevado para a curva 23020253 e com beta próximo de 1 é possível perceber o comportamento da curva do gráfico na figura 33, quase constante.

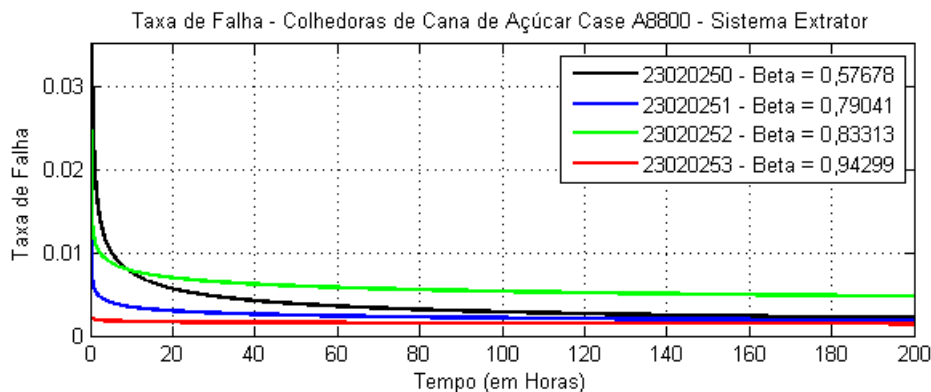


Figura 33 – Taxa de Falha do Sistema Extrator - Colhedora Case A8800

É importante ressaltar que o valor máximo por vezes não é visto no eixo y, pois limitando o valor em y do gráfico, a visualização do comportamento das demais curvas tem melhor interpretação. Para esse caso, se o gráfico tivesse escala para mostrar o valor máximo da curva na cor preta, as demais curvas ficariam muito próximas ao solo, perdendo qualidade de visualização.

4.6.1.3 Sistema Elevador

A confiabilidade para o sistema elevador é baixa quando avaliamos as horas corridas pelo sistema. Pelo diagrama de pareto gerado e apresentado na seção 4.3 é direto constatar que o elevador é um sistema com importância na dinâmica de falha das colheadoras.

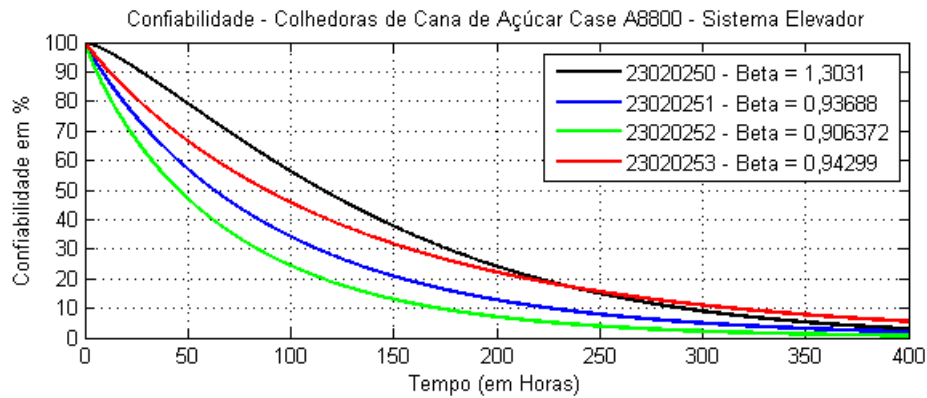


Figura 34 – Confiabilidade do Sistema Elevador - Colhedora Case A8800

Fica claro na figura 34 a influência de Beta maior que um, e o crescimento caracterizando taxa crescente de falhas com o decorrer do tempo. Essa reação permite concluir indícios de desgaste no equipamento.

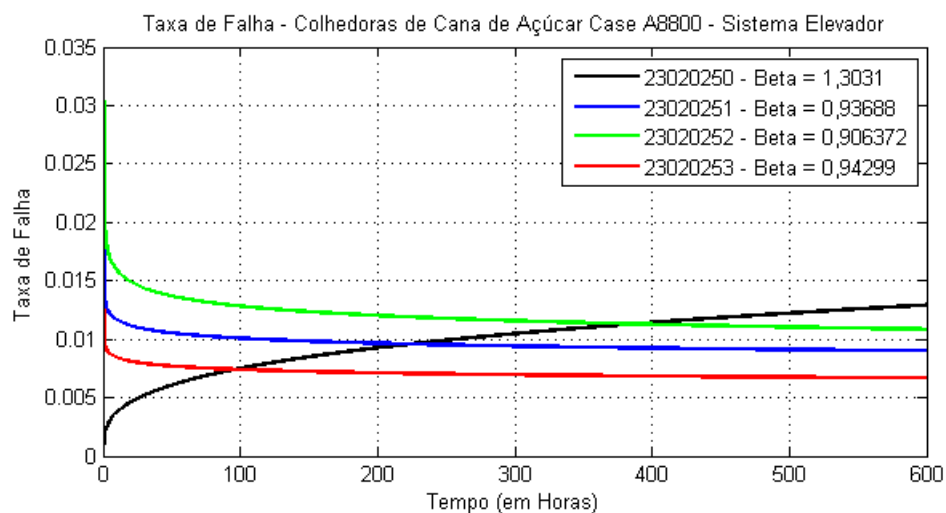


Figura 35 – Taxa de Falha do Sistema Elevador - Colhedora Case A8800

Na imagem 35 as demais taxas possuem comportamento constante de falha.

4.6.1.4 Sistema Corte de Base

O destaque fica por conta do corte de base da 23020253 com confiabilidade afeta perante as demais, e embora os Betas sejam bem parecidos para todas as colhedoras, a vida característica da curva em cor vermelha é constantemente menor.

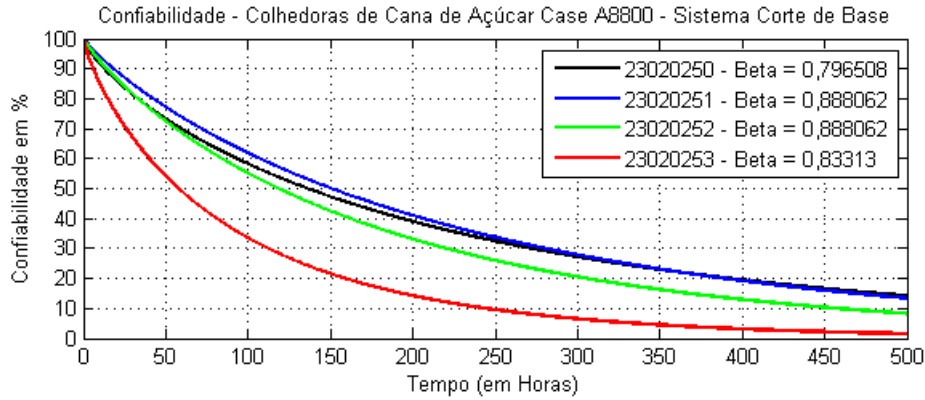


Figura 36 – Confiabilidade do Sistema Corte de Base - Colhedora Case A8800

A taxa de falha, também conhecido como o gráfico da função de risco confirma a discussão realizada para esse subsistema quando olhamos para a figura 36.

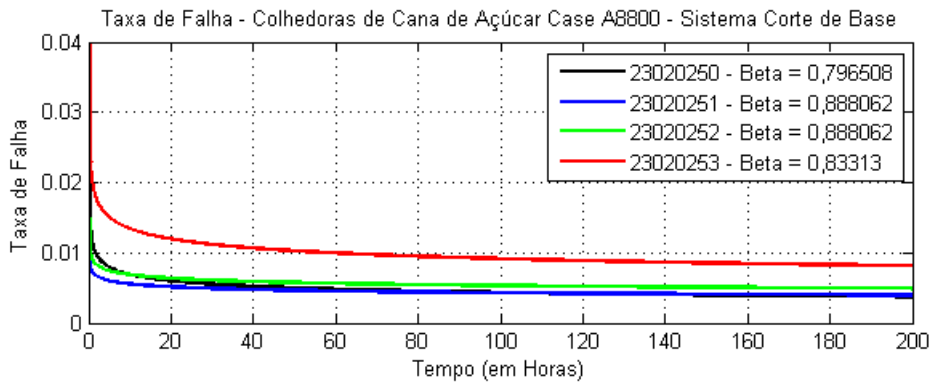


Figura 37 – Taxa de Falha do Sistema Corte de Base - Colhedora Case A8800

Com valores de β e θ parecidos entre si, as outras curvas se sobrepõem dificultando inclusive a visualização na figura 37. Todos os itens apresentam mortalidade infantil, com baixo valor de β .

4.6.1.5 Sistema Divisor de Linha

Tanto corte de base como divisor de linha estão sujeitos a falhas por má operação e alta interferência do meio, como solo e obstáculos para o caso do corte de base. Através

da figura 38 podemos atestar pouca variação entre as curvas, na ordem de 20% para os pontos de 100, 200 e 300 horas.

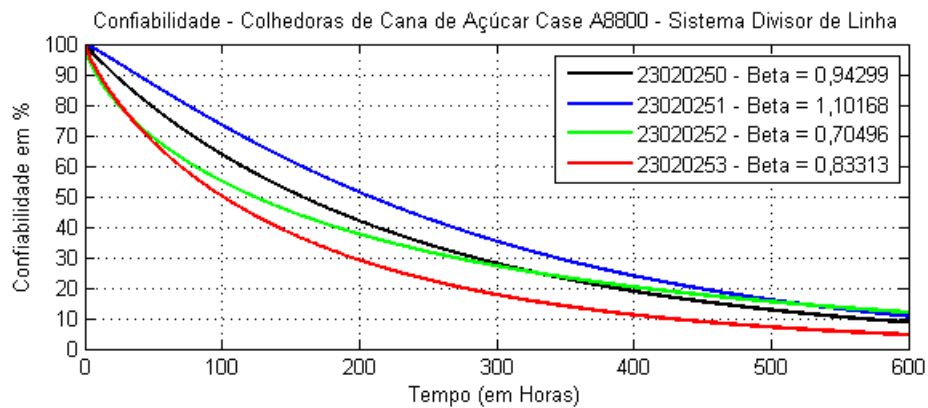


Figura 38 – Confiabilidade do Sistema Divisor de Linha - Colhedora Case A8800

O gráfico de confiabilidade possui maior variação entre o equipamento 23020251 e 23020253. No entanto as curvas seguem mesma tendência entre si.

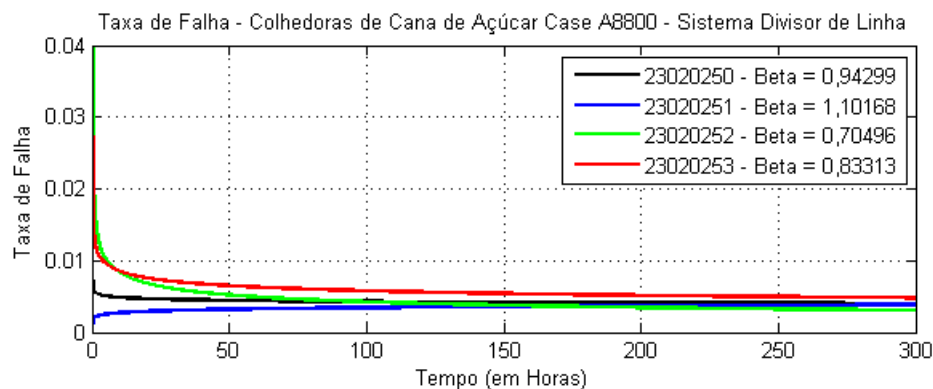


Figura 39 – Taxa de Falha do Sistema Divisor de Linha - Colhedora Case A8800

Na imagem 39 taxa de falha acentuada com poucas horas de trabalho, facilita o entendimento do conceito de mortalidade infantil. A taxa de falha para o equipamento 23020251 possui Beta maior que um, caracterizando vida útil. Assim sendo, a taxa de falha nas primeiras horas é baixa, com aumento a medida que a colhedora funciona.

4.6.1.6 Sistema de Material Rodante

O sistema material rodante sofre por estar sempre em contato com o solo, dos mais diversos tipos, além da carga imposta continuamente pela máquina. Pelas análises realizadas para essa marca de equipamento e outra marca, embora sejam componentes ligeiramente diferentes, o baixo valor de β ratifica a problemática do material rodante. A figura 40 expõe muitas falhas em início de operação.

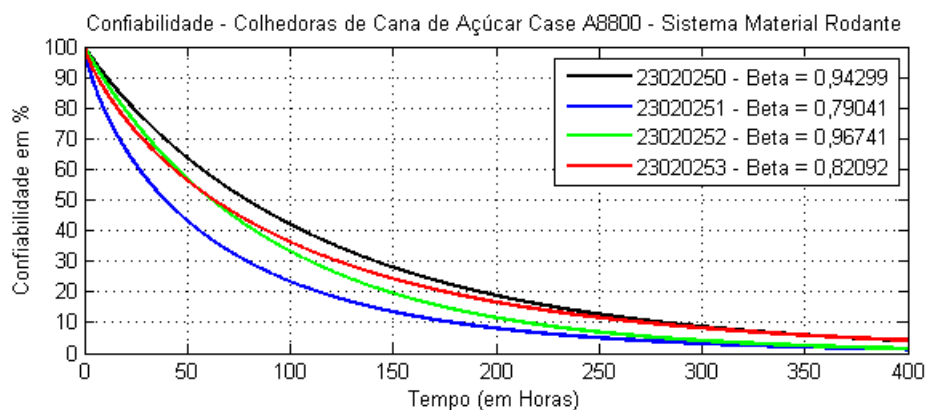


Figura 40 – Confiabilidade do Sistema de Material Rodante - Colhedora Case A8800

As curvas de confiabilidade em 40 possuem semelhanças em formato e escala.

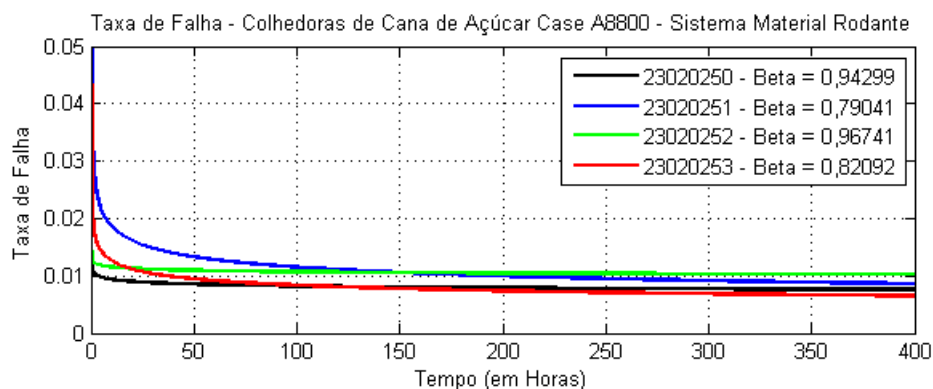


Figura 41 – Taxa de Falha do Sistema de Material Rodante - Colhedora Case A8800

As funções de risco para o caso vigente, em 41 possuem baixa variação de taxa de falha em funcionamento intermediário e longo. Embora que, comparando valor próximo ao início de funcionamento das máquinas a taxa de falha chega a ser de 4 a 6 vezes maior.

4.6.1.7 Sistema Picador

Sistema de média influência no contexto do equipamento, todavia infere diretamente sobre a qualidade da cana-de-açúcar picada. O picador possui problemas historicamente bem conhecidos pelo departamento de manutenção da unidade, como por exemplo vibrações em caixa de engrenagens, desgaste, impactos constantes e sujeira. A figura 42 apresenta a confiabilidade do picador.

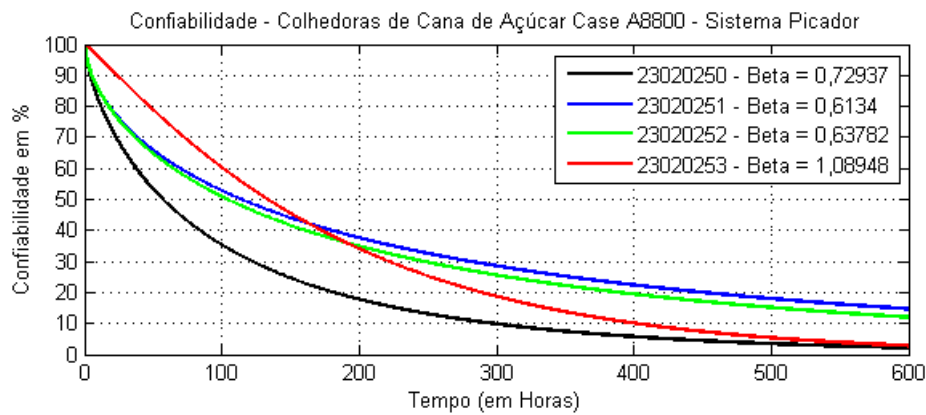


Figura 42 – Confiabilidade do Sistema Picador - Colhedora Case A8800

O baixo número de ocorrências quando comparado a outros sistemas não atesta boa confiabilidade para o picador. Isso fica claro nos dois valores de β , os menores até esse ponto da figura 43.

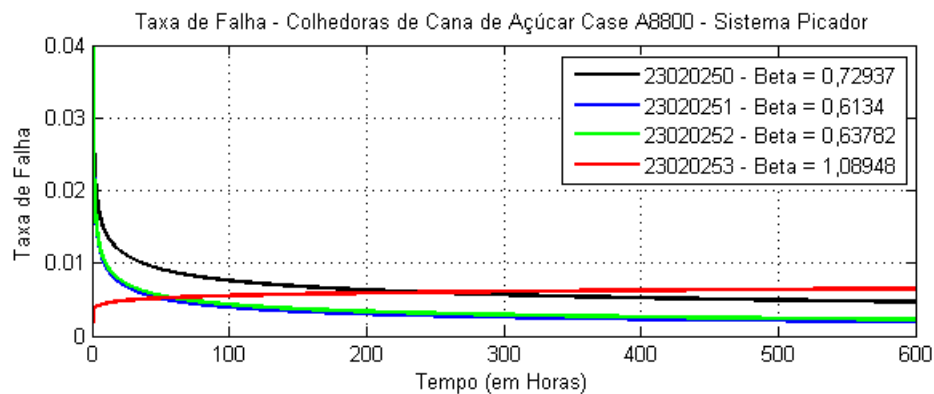


Figura 43 – Taxa de Falha do Sistema Picador - Colhedora Case A8800

Recapitulando, os valores máximos da taxa de falha não estão presentes no eixo Y por uma necessidade de escala para compreensão de todas as curvas. A sobreposição de curvas mostra tendência de acompanhamento entre as colhedoras, após período inicial.

4.6.2 Confiabilidade e Taxa de Falha - Colhedoras Case John Deere CH570

4.6.2.1 Sistema Hidráulico

O resultado presente na figura 44 se assemelha ao realizado no mesmo sistema das colhedoras Case A8800. A comparação não pode ser estendida para conclusões sólidas, visto que embora possuam sistemas semelhantes e com mesmo princípio de funcionamento e função são marcas diferentes com componentes de características particulares. Ainda

assim, o sistema hidráulico é reconhecidamente passivo de falhas frequentes e os dados de β deixam isso claro.

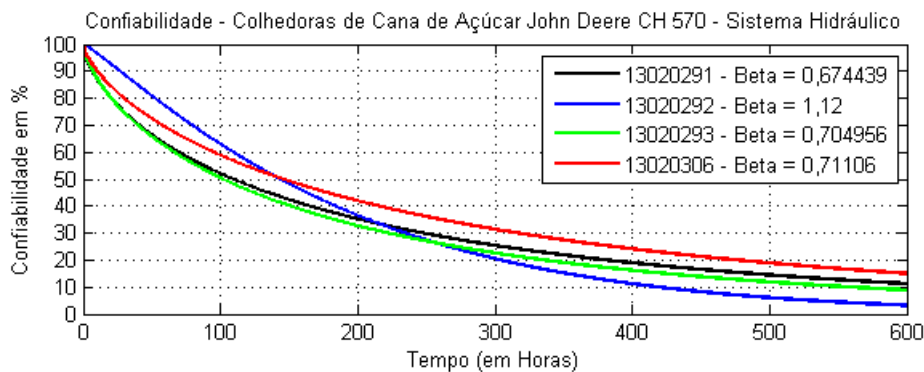


Figura 44 – Confiabilidade do Sistema Hidráulico - Colhedora John Deere CH 570

As colhedoras 13020291, 13020293 e 13020206 demonstram confiabilidades semelhantes, que caracteriza o comportamento comum dos sistemas hidráulicos. É possível notar na figura 44 que a diferença entre as citadas não é maior que 10% com 500 horas de trabalho.

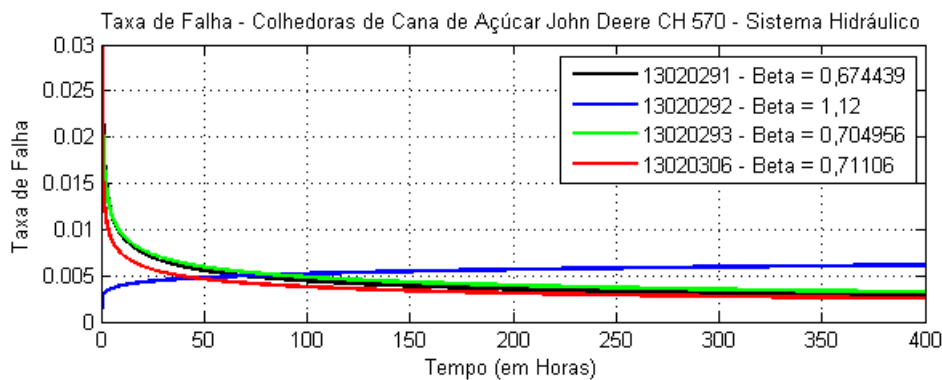


Figura 45 – Taxa de Falha do Sistema Hidráulico - Colhedora John Deere CH 570

Como discutido em outros gráficos, os valores de β menores que 1, corroboram o desempenho de mortalidade infantil. O parâmetro que demonstra essa situação está nas colhedoras 13020291, 13020293 e 13020206. Na figura 45 para os 3 equipamentos é perceptível a alta taxa de falha decorrido ainda poucas horas de operação.

4.6.2.2 Sistema Extrator

O sistema extrator, apresenta valores maiores que 1, próximos a 2, caracterizando alta confiabilidade inicial que decresce rapidamente com o passar do tempo, com acentuada queda as características de desgaste ficam evidenciadas na figura 46.

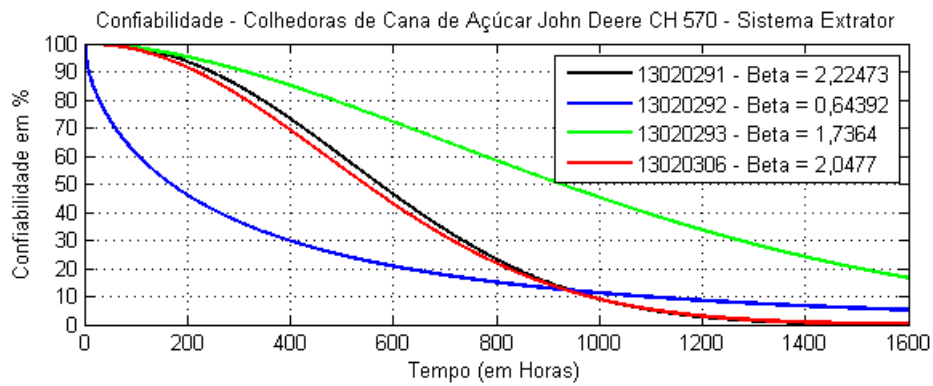


Figura 46 – Confiabilidade do Sistema Extrator - Colhedora John Deere CH 570

Confirmando o analisado, a figura 47 reforça para as máquinas 13020291 e 13020206 a teoria da curva da banheira. Um β de 2,22473 e 2,0477 respectivamente, revela a presença do desgaste no equipamento, aumentando a taxa de falha com o tempo.

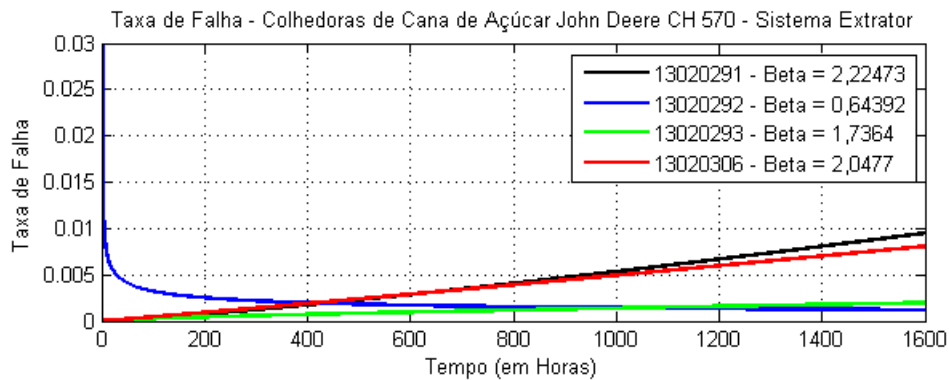


Figura 47 – Taxa de Falha do Sistema Extrator - Colhedora John Deere CH 570

Uma análise aprofundada na colhedora 13020292 faz-se necessária pelo baixo valor do parâmetro β , trazendo a tona falhas concentradas no início da operação, afetando a disponibilidade e confiabilidade da máquina. Retornando a figura 46 fica explícito a diferença de confiabilidade entre esse equipamento e os demais. De certo modo o alto valor de θ , a vida característica, acaba por dificultar a percepção de problema para esse sistema.

4.6.2.3 Sistema Elevador

Assim como no item anterior, sistema extrator, a máquina 13020292 também apresenta problemas em função do baixo valor de β .

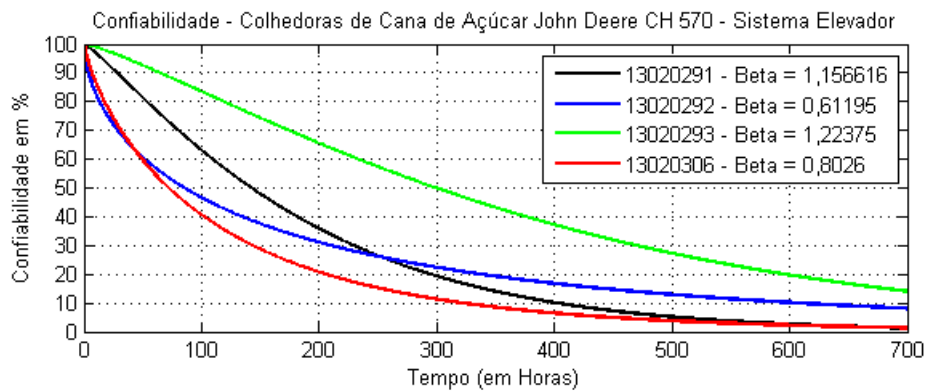


Figura 48 – Confiabilidade do Sistema Elevador - Colhedora John Deere CH 570

Na figura 48 nota-se a curva de confiabilidade da colhedora 13020306 com valores abaixo das demais curvas mesmo não tendo o menor valor de β entre as quatro. Esse acontecimento tem motivo findado no baixo valor da vida característica, valor de θ . O comportamento dos gráficos de confiabilidade e taxa de falha são dependentes dos dois parâmetros β e θ , portanto por vezes o menor valor de β não configura a curva como a de menor confiabilidade.

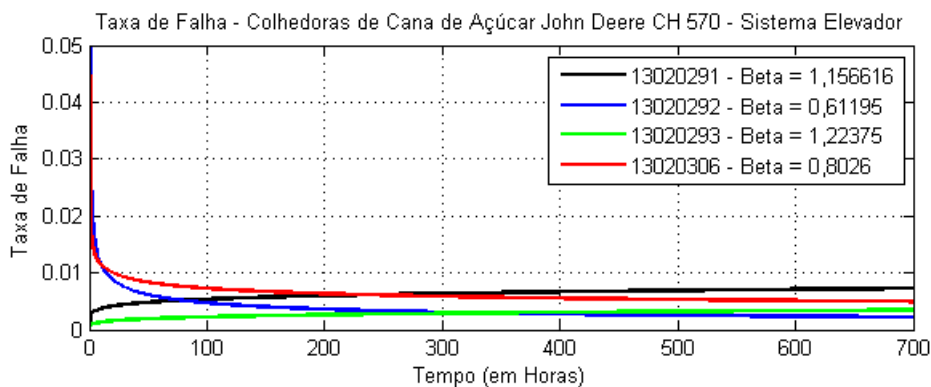


Figura 49 – Taxa de Falha do Sistema Elevador - Colhedora John Deere CH 570

As colhedoras 13020291 e 13020293 obtiveram parâmetros de β próximo a 1,20. Esse valor demonstrado na figura 49 desgaste com baixa inclinação na curva de taxa de falha, confirmando o fato de serem colhedoras novas.

4.6.2.4 Sistema Corte de Base

O corte de base avaliado para os equipamentos John Deere, na figura 50 possuem pontos importantes a discutir. O alto valor de vida característica, valor de θ , para os códigos 13020291 e 13020293 chamam atenção para a o decréscimo pouco acentuado das curvas de confiabilidade ocasionado pelos valores de θ .

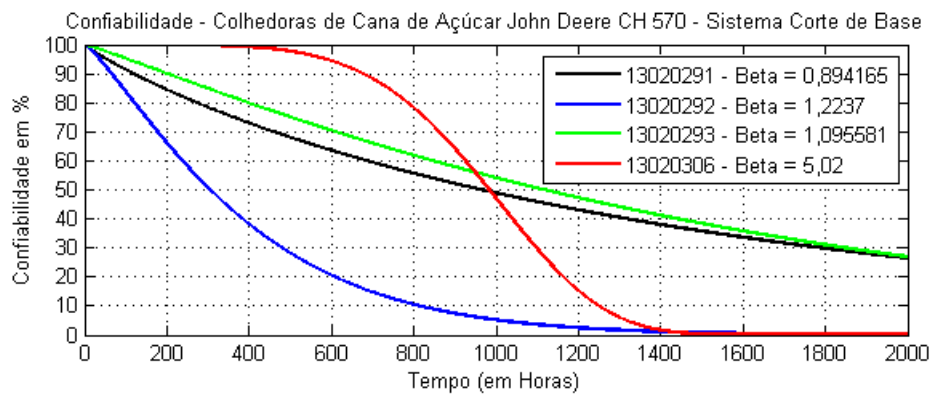


Figura 50 – Confiabilidade do Sistema Corte de Base - Colhedora John Deere CH 570

Ainda sobre a 50 a curva da colhedora 13020306 apresenta alta confiabilidade durante períodos iniciais, entrando em forte declínio na metade do período avaliado. Apresenta confiabilidade praticamente nula acima das 1400 horas.

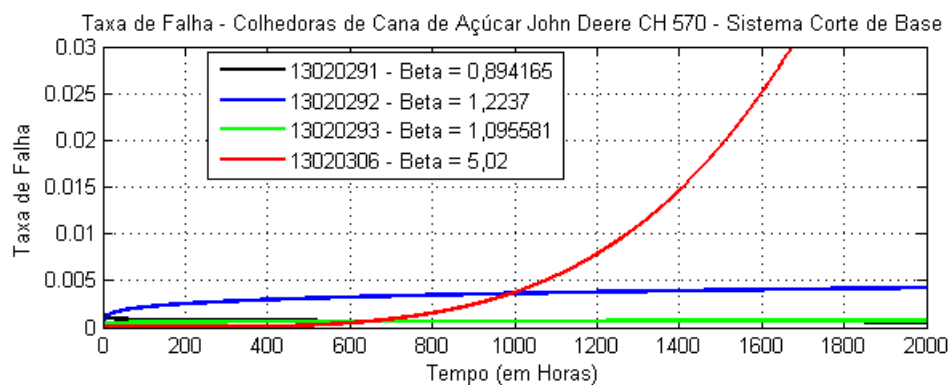


Figura 51 – Taxa de Falha do Sistema Corte de Base - Colhedora John Deere CH 570

Sobre a taxa de falha a figura 51 exibe baixa taxa de falha para os equipamentos 13020291, 13020292 e 13020293 ao longo de todo período, principalmente quando comparado com os valores da taxa de falha de outros sistemas para esse mesmo grupo de colhedoras. O alto desgaste detectado na colhedora de código 13020306 é visto na curva de $\beta = 5,02$, o maior valor de β encontrado em todas as análises. A curva de $\beta 5,02$ tem por consequência baixa taxa de falha até 1000 horas, com aumento agressivo a partir deste.

4.6.2.5 Sistema Divisor de Linha

O sistema divisor de linha possui três máquinas com confiabilidade próxima uma as outras, tendo dois desses equipamentos parâmetro β muito próximos um do outro. A

figura 52 apresenta curvas semelhantes, exceto para a colhedora 13020292 com grande vantagem quando comparada as demais.

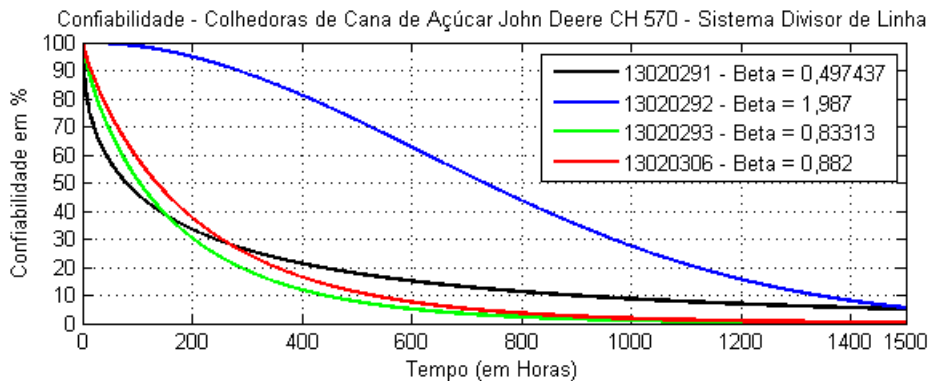


Figura 52 – Confiabilidade do Sistema Divisor de Linha - Colhedora John Deere CH 570

A alta diferença de confiabilidade fica melhor entendida quando avaliada em conjunto a taxa de falha. A imagem 53 fornece informação para caracterizar as três colhedoras 13020291, 13020293 e 13020306 com problema de mortalidade infantil, sendo o valor de $\beta = 0,497437$ um valor baixo, que serve de alerta para uma verificação apurada do sistema divisor de linha do equipamento 13020291. Previamente discutido, vale a ressalva de que o valor máximo da taxa de falha não aparece no gráfico por ajustar o eixo Y de maneira adequada a visualizar o comportamento de todas as curvas presentes no gráfico.

Parâmetro β próximo a 1 infere em taxa de falha quase constante, com baixa inclinação de reta, principalmente quando o valor máximo do eixo y é demasiadamente alto para abranger o valor máximo da taxa de falha de itens com parâmetro β baixo, caso do código 13020291.

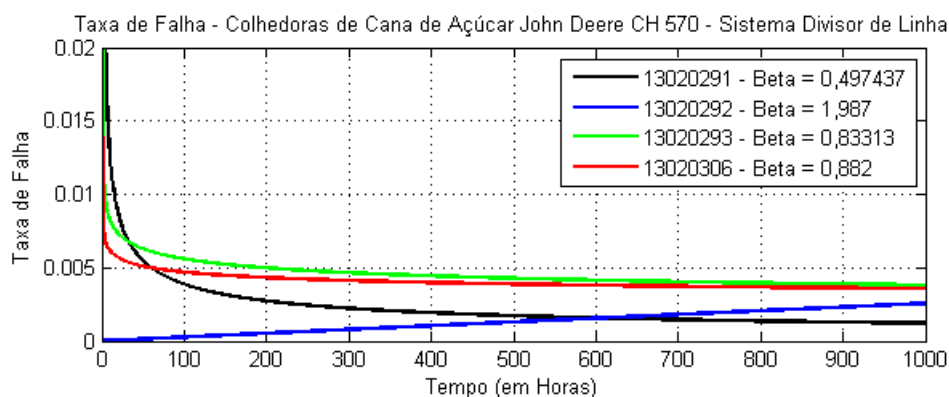


Figura 53 – Taxa de Falha do Sistema Divisor de Linha - Colhedora John Deere CH 570

Dessa maneira, fica claro que o valor da taxa de falha para 13020291 é muito maior que apenas os 0,02 máximos do eixo y no gráfico, mas caso o valor máximo do

eixo y estivesse ajustado para o valor máximo real dessa curva, as demais curvas estariam muito próximas a $y = 0$, perdendo qualidade na informação.

4.6.2.6 Sistema de Material Rodante

Com pouca diferença comparado ao sistema hidráulico, ambos são sistemas que apresentam comportamento de mortalidade infantil pela problemática de operação e ambiente externo. O material rodante apresenta comumente valores do parâmetro β que caracterizam para a função de risco mortalidade infantil (β menor que 1) A figura 54 possui pontos interessantes a discutir.

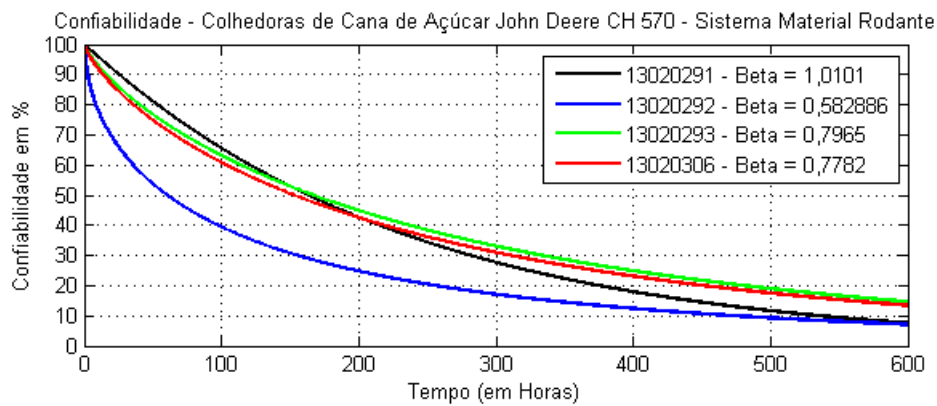


Figura 54 – Confiabilidade do Sistema de Material Rodante - Colhedora John Deere CH 570

As curvas das máquinas 13020291, 13020293 e 13020306 possuem grande similaridade em formato, devido aos valores de θ da tabela 9. Esse sistema dentre todos os outros das análises, foi o único equipamento a possuir colhedora com $\beta = 1,01$. O valor em questão gera interpretação particular da taxa de falha, presente na figura 55.

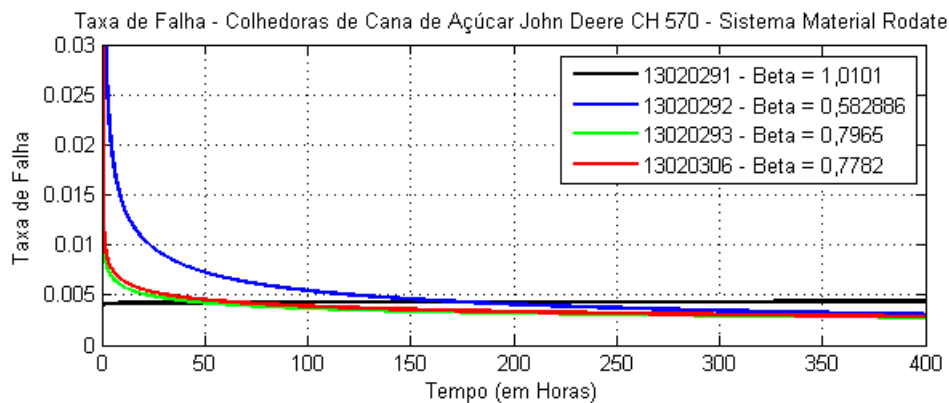


Figura 55 – Taxa de Falha do Sistema de Material Rodante - Colhedora John Deere CH 570

O comportamento constante da taxa de falha é visível na imagem 55, e analisando melhor a equação 3.8 é presumível que com $\beta = 1$ o valor da potência de $h(T)$ passa a ser 0, levando a:

$$h(T) = \frac{1}{\theta} \quad (4.1)$$

ocasionando uma taxa de falha constante e menor, pra quanto maior for o θ .

4.6.2.7 Sistema Picador

Considerando todas as análises feitas de confiabilidade e taxa de falha, o sistema picador das 4 colhedoras John Deere teve como resultado a ausência de β menor que 1. A confiabilidade está melhor para o equipamento de código 13020293, nesse caso pela grande diferença de valor da vida característica, θ , frente as outras colhedoras. O valor de θ é grande influenciador da confiabilidade. A figura 56 demonstra isso

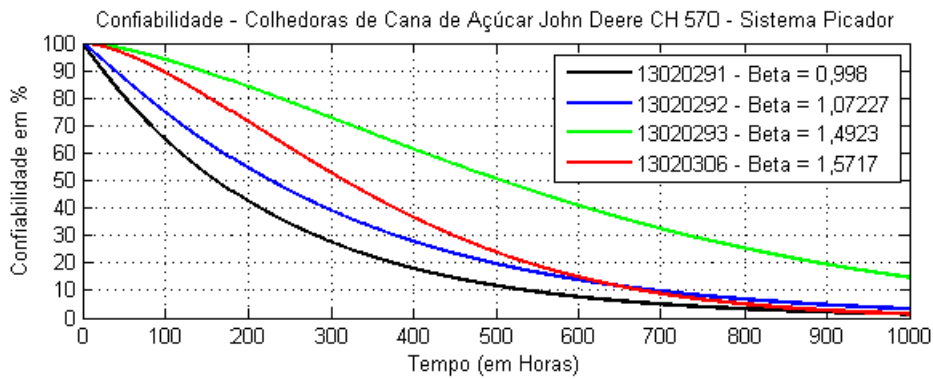


Figura 56 – Confiabilidade do Sistema Picador - Colhedora John Deere CH 570

Na função de risco, percebe-se pela figura 57 portanto que a taxa de falha se mantém constante para o equipamento 13020291 de $\beta = 0,998$, aproximadamente 1. Por conseguinte, a taxa de falha é constante, uma reta pouco acima de 0,004 de taxa de falha. Os demais valores de β maior que 1 possuem aumento da taxa de falhas com o decorrer do tempo, tendo inclinação maior quanto maior é o valor de β .

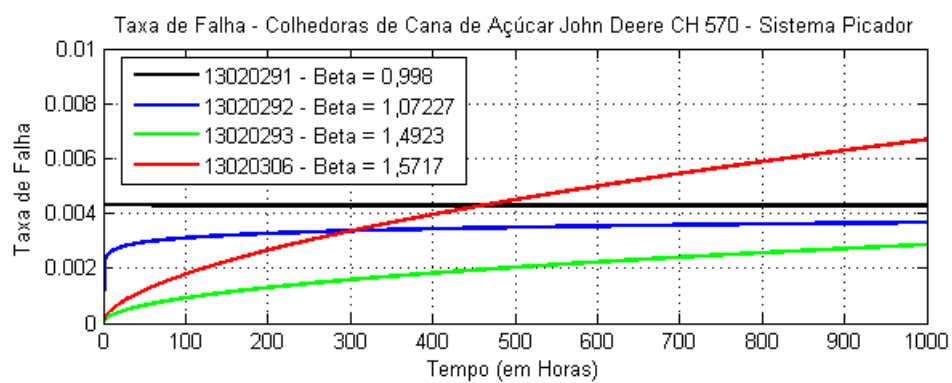


Figura 57 – Taxa de Falha do Sistema Picador - Colhedora John Deere CH 570

5 Conclusão

O termo confiabilidade ganha adeptos no dia a dia dos departamentos de manutenção e isso é fundamental para o desenvolvimento das organizações e mais especificamente falando, das unidades produtoras agrícolas que utilizam máquinas pesadas. No entanto, o uso da palavra confiabilidade não está comumente associado a estatística e números. Qualitativamente as avaliações de confiabilidade podem ser rasas e consequentemente pouco conclusivas para identificação de casos especiais de falhas em equipamentos. O domínio da falha do equipamento aliado a um levantamento estatístico, confere a possibilidade de prever falhas, conhecer a respeito do equipamento e como é o comportamento da falha, permitindo otimizar serviços de parada que são pontos cruciais para garantir de fato boa produtividade, gerando lucros e alavancando o setor. O trabalho presente possui relevância por atender o objetivo primário de organizar e levantar dados, criando conceitos de análise em conjunto com a unidade produtiva para buscar esclarecer situações desconhecidas a respeito das falhas operacionais. Em se tratando da taxa de risco ou função de azar, e também da confiabilidade, os parâmetros da função weibull influenciam diretamente nos gráficos e nas análises. Assim sendo, uma avaliação mais criteriosa a respeito desses parâmetros, acompanhada de avaliação rigorosa de intervalo de confiança e refinamento do algoritmo utilizado é um desenvolvimento futuro interessante. A completa compreensão dos gráficos gerados depende ainda de um histórico de análise maior, o que requer mais safras de avaliação, mesmo os dados utilizados no trabalho atual sendo de grande quantidade. A evolução da avaliação caminha para investigar correlação entre operação, procedimento de reparo, tipos de peça aplicada e a falha. O uso do estimador através da função de máxima verossimilhança permitiu valores de β e θ condizentes para a distribuição weibull que foi proposta para utilização no início, após a tentativa frustrada da utilização de métodos de linearização tabular como o *hazzard plotting* e *probability plotting* terem falhado, não apresentando valores solúveis e aceitáveis para progredir. Surpreendentemente os valores de β para as colhedoras mais velhas utilizadas, Case A8800, foram baixos, assemelhando a distribuição weibull a uma distribuição exponencial e caracterizando a taxa de falha como mortalidade infantil como amplamente discutido no desenvolvimento dos resultados. As colhedoras John Deere analisadas eram máquinas novas e tiveram resultados condizentes com o que se esperava, apresentando valores de θ altos, em função da pouca quantidade de horas corridas em operação. No tocante a coleta de dados, a melhoria do sistema pode ser realizada designando previamente grupos bem caracterizados para a colhedora de cana-de-açúcar, diferenciando-os em função de cada sistema presente na máquina, facilitando a organização dos dados. Tal fato impacta nas tarefas de abertura de ordem de serviço, sendo item dependente do comportamento par-

ricular de cada funcionário responsável por descrever o problema e cadastrar no sistema. A prévia delimitação de sistemas para encaixe do histórico de falhas ocorridas melhora significativamente a qualidade dos dados de forma geral.

Referências

- ACTION, P. Método da máxima verossimilhança. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/confiabilidade/421-metodo-de-maxima-verossimilhanca>>. Citado na página 57.
- BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. Gestão de qualidade, produção e operações. São Paulo, Brasil, v. 2, 2012. Citado na página 29.
- CAMPBELL, T. D. Degree of freedom and the case study. comparative political studies. v. 8, p. 178–193, 1975. Citado na página 43.
- CARROL, J.; JOHNSON, E. Decision research: A field guide. In: *Journal of the Operational*. [S.l.: s.n.], 1992. v. 43, p. 71–72. Citado na página 44.
- CONAB, C. N. de A. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. - v. 1 - Brasília. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Citado na página 21.
- COOK, T. D.; CAMPBELL, T. D. Quasi-experimentation: Design and analysis issues for field settings. Chicago, Rand McNally, 1979. Citado na página 43.
- CRUZ, R. R. Desempenho operacional e análise de custo de corte, carregamento e transporte mecanizado da cana-de-açúcar (*saccharum spp*). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, 2010. Citado na página 21.
- DODSON, B.; SCHWAB, H. *Accelerated testing: a practitioner's guide to accelerated and reliability testing*. Warrendale, PA: [s.n.], 1962. 256 p. Citado 5 vezes nas páginas 33, 34, 35, 37 e 56.
- FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, J. L. R. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2009. Citado 6 vezes nas páginas 31, 32, 36, 52, 57 e 70.
- FOWLER, E. J. J. Survey research methods. Newbury Park, California, 1988. Citado na página 44.
- FREITAS, M. A.; COLOSIMO, E. Antônio. *Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados*. Belo Horizonte, MG: [s.n.], 1997. 326 p. Citado na página 56.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo, Brasil, 1996. Citado na página 41.
- GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. In: *Revista de Administração de Empresas*. [S.l.: s.n.], 1995. v. 35, n. 2, p. 57–63. Citado na página 42.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. *Manutenção – função estratégica*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2001. Citado na página 19.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. A. *Manutenção Preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2013. 196 p. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 26.

- LAFRAIA, J. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. [S.l.]: Qualitymark, 2001. Citado na página 23.
- LEWIS, E. *Introduction to reliability engineering*. USA, 1996. Citado na página 32.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo, p. 99, 1986. Citado na página 44.
- MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing: Metodologia e planejamento. São Paulo, Brasil, 1996. Citado na página 41.
- MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. C. *Manutenção – combate aos custos na não-eficácia – a vez do Brasil*. São Paulo, Brasil, 1993. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- MONTEMOR, K. G.; ORTEGA, C.S, A. *Fabricação Classe Universal (FCU) In: Ballester-Alvarez, Maria Esmeralda (Coord). Administração da Qualidade e da Produtividade*. São Paulo, Brasil, 2001. Citado na página 29.
- MONTGOMERY, D. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2009. 490 p. Citado 5 vezes nas páginas 29, 30, 31, 33 e 65.
- MORRIS, S. Bathtub curve. 2011. Disponível em: <<http://www.reliabilityanalytics.com/blog/2011/08/31/bathtub-curve/>>. Citado na página 36.
- MOUBRAY, J. *Manutenção centrada na confiabilidade*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 1996. Citado na página 31.
- MURTY, A.; NAIKAN, V. Availability and maintenance cost optimization of a production plant. *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 12, n. 2, p. 28–35, 1995. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.
- NEPOMUCENO, L. X. *Técnicas de Manutenção Preditiva*. São Paulo, Brasil: [s.n.], 2014. 501 p. Citado na página 24.
- NUNES, E. L. Manutenção centrada em confiabilidade (mcc): Análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada. Santa Catarina, Brasil, 2001. Citado na página 23.
- RELIASOFTBRASIL. Conceitos de confiabilidade. In: *The eMagazine for the Reliability Professional*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 1, n. 3, p. 1–7. Citado 4 vezes nas páginas 33, 36, 56 e 57.
- REZENDE, G. C. de. *Estado, Macroeconomia e Agricultura no Brasil*. Porto Alegre, Brasil, 2003. 246 p. Citado na página 21.
- RIPOLI, T. C.; PARANHOS, S. B. Sistemas de colheita - cana-de-açúcar - cultivo e utilização. In: *Fundação Cargill*. Campinas, São Paulo, Brasil: [s.n.], 1897. v. 2, p. 519–593. Citado na página 38.
- SCARANELLO, L. T. et al. Disponibilidade mecânica e custos de manutenção de colhedoras de cana de açúcar. São Paulo, Brasil, 2012. Citado na página 21.
- SCHRAMM, W. Notes on case studies of instructional media projects. .working paper, the academy for educational development. Washington, 1971. Citado na página 42.

- SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. In: *Revista Produção*. [S.l.: s.n.], 2005. v. 15, n. 1, p. 44–59. Citado na página 31.
- SHIMOSAKAI, V. C. de M. Custo de reparo e manutenção de colhedoras de cana-de-açúcar em função das horas de operação. Campinas, SP, Brasil, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 41.
- STOECKER, R. Evaluating and rethinking the case study. the sociological review. 1991. Citado na página 42.
- VIANA, H. R. G. *PCM, Planejamento e Controle de Manutenção*. Rio de Janeiro, Brasil: [s.n.], 2002. 192 p. Citado 3 vezes nas páginas 24, 25 e 27.
- XENOS, H. G. D. *Gerenciando a Manutenção Produtiva*. Belo Horizonte, Brasil: [s.n.], 1998. 302 p. Citado 5 vezes nas páginas 20, 23, 24, 25 e 70.
- YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e método*. Porte Alegre, Brasil: [s.n.], 2001. 202 p. Citado 4 vezes nas páginas 41, 42, 43 e 44.

Anexos

ANEXO A – Primeiro Anexo

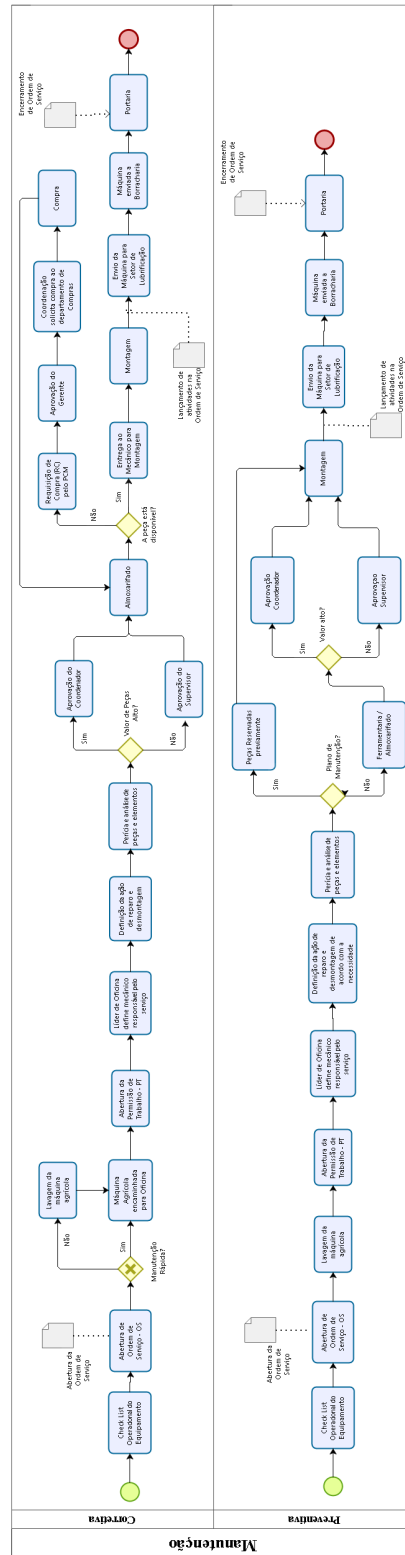


Figura 58 – Fluxograma do procedimento de manutenção interno